レジリエンス確保に関する技術検討委員会

「コンビナート対策分科会」検討報告書

（「国難」をもたらす巨大災害対策についての技術検討報告書：付録 IV）

2018 年 6 月

土木学会

平成 29 年度会長特別委員会

「レジリエンス確保に関する技術検討委員会」

コンビナート対策分科会

レジリエンス確保に関する技術検討委員会「コンビナート対策分科会」　委員

名簿

役 職	氏　名	所　属
主査	濱田政則	早稲田大学
幹事長	清野純史	京都大学
委員	亀村勝美	深田地質研究所
〃	木全宏之	高圧ガス保安協会
〃	小松憲一	一般財団法人　産業施設防災技術調査会
〃	庄司学	筑波大学
〃	中村孝明	篠塚研究所
〃	永井一徳	一般財団法人　産業施設防災技術調査会
〃	福島淑彦	早稲田大学
〃	横塚雅実	一般財団法人　産業施設防災技術調査会

目次

１．はじめに 1

２．過去の地震・津波による臨海産業・エネルギー施設被害 3

２．１コンビナートの過去の地震被害 3
２．２詳細事例　～東北地方太平洋沖地震および津波による設備被害～ 7
２．３省庁・自治体のコンビナート防災の考え方 16
２．４詳細事例　～川崎市臨海部防災対策計画～ 25
２．５産業施設強靭化に向けた国・自治体の施策 31

３．耐震・耐津波性評価の検証と設計・施工技術 42

３．１臨海部コンビナートの地震時被害の特徴 42
３．２既存施設の耐震性（耐震基準の変遷） 43
３．３地震・津波災害対策の課題 45
３．４強靭化対策の設計・施工技術と対策効果 46

４．臨海産業・エネルギー施設のリスク評価 51

４．１直接損失額（ストック被害）と間接損失額（フロー被害） 51
４．２産業施設の財務から見た直接損失額と間接損失額 52
４．３直接損失額の推計方法 53
４．４間接損失額の推計方法 54
４．５事例解析　～京浜地区を対象として～ 58
４．６まとめ 65

５．臨海産業・エネルギー施設強じん化の現状とその効果および課題 68

５．１はじめに 68
５．２企業全般におけるBCPへの取組み状況 69
５．３アンケート結果 70
５．４BCP取組み事例 73
５．５今後の課題 77
強じん化に関するアンケート 80

６．臨海産業施設の強靭化の現状と課題 84

６．１国土強靭化基本法（強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災などに資する国土強靭化基本法 84
６．２経済産業省および国土交通省の施策 86
６．３「石油供給構造高度化事業コンソーシアム」の設立と活動 91
６．４強靭化促進に向けての課題 92

コンビナート強靭化促進に向けての提言 97

１．はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震より 7 年余りが経過した。本地震による関連死を含めた死者 19,630 名、行方不明者 2,569 名、全壊家屋 121,781 戸(平成 30 年 3 月 1 日消防庁)というわが国の自然災害史上未曾有の被害が発生した。

東北地方太平洋沖地震は東京湾岸の埋立地に建設されてきた産業施設にも甚大な被害を発生させた。市原市の C 石油製油所では 17 基の LPG タンクが爆発炎上し、大火災が発生して完全な鎮火までに約 1 週間を要した。また、この製油所の火災は隣接する石油事業所にも飛び火、火災が発生している。このことは産業施設の災害が広域のコンビナート全体に拡大する可能性を示した。

東京湾岸ばかりでなく、仙台港においても津波により大火災が発生し、完全消化まで 2 週間以上を要した。津波により漂流してきた、タンクローリーがパイプラインに衝突したことが火災の直接的原因と推定される。

東京湾では地盤の液状化によるコンビナート被害が発生している。東京湾をはじめとして、石油精製やエネルギー生産などのわが国の主要コンビナート施設は、昭和 20 年代の戦後の復興期に湾岸を埋立造成し建設されてきた。原材料の輸入および製品の輸出への利便性を考慮して臨海部埋立地に建設されてきたものである。昭和 39 年の新潟地震を契機として液状化現象とそれによる被害が工学的な観点よりはじめて認識された。地震後の調査・研究を経て、数年経ってからはじめて地盤の液状化対策が施工されるようになった。従って、新潟地震以前に造成された埋立地盤の多くは液状化対策が施工されていないのが現状である。このため、コンビナートの地震対策では、既に埋立造成されている地盤とそこに建設されている構造物・施設の基礎構造の補強が重要な課題となる。

長周期地震動によるタンク火災もコンビナートの安全性に対する大きな脅威である。新潟地震や昭和 58 年の日本海中部地震など多くの既往地震で長周期地震動による大規模なタンク火災が発生してきている。火災は、タンク内の油が長周期地震動により大きく振動(スロッシング振動)を起し、浮屋根がタンク側壁などと衝突して発火することが原因である。数 10m の直径を有するタンクの油のスロッシング振動を抑制することは技術的に難しく、液面を常時低下させておく以外の対応は現時点ではとられていない。

産業施設がわが国の戦災からの復興に大きく貢献し、経済大国の礎を築いたと言っても過言でない。しかしながら、建設より半世紀以上経過した施設も多く、経年劣化が危惧されている。事実、施設の劣化による中小の事故も近年頻発するようになってきている。コンビ

ナート施設の強靭化を考える上で、現状の施設の老朽化を十分に考慮する必要があるが、老朽化が進んでいる施設が膨大な数になること、また老朽化した部位を発見することが容易でないことなど、今後解決を要する課題が多く残されている。

これらの産業施設が将来の地震や津波により大きな被害を受けた場合、わが国の経済や社会に与える影響は大きい。経済被害はわが国のみならず世界の経済に与える極めて深刻な影響を与えると考えられる。

平成 25 年 12 月に国土強靭化基本法が成立し、道路・鉄道・港湾・河川など主要な社会インフラの強靭化事業が進められている。しかしながら産業施設については、強靭化は遅々として進んでいないのが現状である。強靭化が遅れている理由は大きく 2 つある。一つ目の理由は、産業施設が基本的には民間企業の施設であり、道路などの公共施設と同じように公的資金を投入することが難しいことである。2 つ目の理由は、コンビナート施設の地震や津波に対する総合的なリスク評価がほとんど行われていないことである。リスク評価が行われている場合、企業の短期的な利益を護るという理由で、これらのリスク情報は一般に公表されることはない。このような状況で産業施設の集合体であるコンビナートの強靭化のレベルを評価することはほとんど困難である。

本分科会においてもコンビナート企業の 8 団体にリスク評価の有無と結果、強靭化計画の現状に関し、アンケート調査を試みたが、回答を寄せたのはわずか 2 団体、1 企業のみであった。

コンビナートの被災は地域と住民の安全性にも重大な影響を及ぼす。コンビナートの防災性を高め、地域住民を護ることは企業としての責務と考えられるが、残念ながら現状では地域の安全性向上のためのコンビナート企業、自治体および住民との協力体制は築かれていない。

このような状況から、本分科会では、公表されている既往地震と津波による被害事例の分析を行うとともに、危険物施設と高圧ガス施設の耐震設計法と技術指針の変遷をレビューした。また現在実施されている資源エネルギー庁による「石油コンビナート強靭化事業」も参考にコンビナート施設の強靭化向上の方向性と課題を明らかにし、将来のコンビナート強靭化に向けて提言をまとめた。

２．過去の地震・津波による臨海産業・エネルギー施設被害

2.1 コンビナートの過去の地震被害

2.1.1 危険物施設

1923 年関東地震から 2011 年東北地方太平洋沖地震まで、過去の地震・津波によるコンビナートの危険物施設等の被害概要を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1　過去の地震・津波によるコンビナートの危険物施設等の被害概要 [1),2),3),4)].

地　震	被害概要
関東地震 1923.9.1 M7.9	横須賀軍港箱崎山の山腹造成地にあった約 10 万 ton の重油タンク群が壊滅的な被害。6,000ton の満液タンクで油が溢流し、発火・炎上・爆発に至った。タンク重油は十数日間黒煙を上げて燃え続けた。
アラスカ地震 1964.3.27 M9.2	スロッシングによる多様な被害が多く認められた。震央から 150km 以内の 4 地区のタンク群のうち 3 地区で発火・炎上。スロッシングによるタンクの被害形態である浮き屋根の座屈、ガイドポールの屈曲、回転梯子の脱落・変形、側板接合部の破損、浮き屋根及びその付属設備の破損などが認められる。
新潟地震 1964.6.16 M7.5	地盤変状や基礎の沈下による臨海地帯のタンクの傾斜や沈下、配管の破損などが生じた。昭和石油新潟製油所の原油タンク 5 基、製品タンク 10 基の浮屋根がスロッシング被害。3 万 kL 原油タンクの浮き屋根からタンク側壁を超えて溢流した原油に着火。鎮火まで 15 日間燃え続けた。ブロック積み防油堤破損個所から流出した原油によって加熱炉、ボイラー、反応塔で火災発生。タンク 5 基全焼、12 万 kL 以上の原油が焼失した。一方、バイブロフローテーション工法で地盤改良したタンク、プラントには殆ど被害がなかった。
十勝沖地震 1968.5.16 M7.9	八戸港の製紙工場で液状化によるﾀﾝｸ傾斜等被害発生。しかし、バイブロフローテーション工法で地盤改良した構造物では、軽微～無被害にとどまった。
宮城県沖地震 1978.6.12 M7.4	石油コンビナート地域の屋外貯蔵タンクからの油流出やタンクの傾斜が発生。仙台港塩釜地区では石油タンクハバイブロフローテーション工法で地盤改良されており、液状化による被害は認められていない。ただし、３基のタンク高圧ガス施設で底板に亀裂が入り、油が流出した。液

	状化による明らかな被害は無かったが、配管に亀裂・フランジ゛の緩みによりガス漏れ多発。石巻市では周辺で著しい液状化が発生したが、コンパクション工法で改良したタンクは無被害。
日本海中部地震 1983.5.26 M7.7	コンビナート地域での屋外貯蔵タンクの沈下、傾斜、溢流、配管の変形などが発生。秋田、新潟、苫小牧で石油タンク被害が発生。秋田ではリング火災が発生、新潟では浮き屋根式タンクでポンツーンが座屈し、大量の油が浮き屋根上に流出または溢流した。青森港では、70 基中約 20 期のタンクで最大 30cm の沈下が発生したが、サンドコンパクション工法で改良されたタンクは無被害。
千葉県東方沖地震 1987.12.17 M7.7	京葉コンビナートでは、道路、平坦部で液状化は発生したが構造部には被害は生じなかった。機器のアンカーボルトの破断が一部発生したのみ。川崎地区ではタンクヤードの一部に小規模な液状化の痕跡あり。
釧路沖地震 1993.1.15, M7.8	釧路港の港湾構造物に液状化が原因と見られる被害発生。タンク群には本体座屈や基礎表面に亀裂が発生したが、液状化被害は無し。
北海道南西沖地震 1993.7.12, M7.7	室蘭港、函館港他で、港湾、河川護岸に液状化被害多数発生。
三陸はるか沖地震 1994.12.28 M7.5	八戸石油基地の 185 基の石油タンク群には殆ど被害は出ていないが、タンクヤードに液状化の発生があった。地盤改良したタンクでは被害は出ていない。
兵庫県南部地震 1995.1.17 M7.2	液状化に伴う護岸の数 m に及ぶ側方流動が発生し、LPG タンクの接続配管フランジからガス漏れ発生。約 70,000 人が避難。神戸港では湾港構造物に液状化による被害大。石油タンク群からの漏えいは無いが、多数が沈下・傾斜を起こした。
トルコ・ コジャエリ地震 1999.8.17 M7.4	震央近くの製油所が大被害を受けた。86 万トンの原油が 14 基の大型タンクに、84 万トンの中間生成物が 86 基の中小規模タンクに貯蔵されていたが、そのほとんどでスロッシングによる何らかの被害を受けた。そのうちの 6 基のタンクで火災が発生。浮き屋根式の 80 基のタンクのうち、45 基の浮き屋根がその全部または一部で沈没。
台湾・集集地震 1999.8.17 M7.5	沙崙、新竹、鐵砧の 3 箇所の石油基地でスロッシング被害発生。シングルデッキ型大型浮き屋根式タンクのポンツーンの座屈、デッキ上への油の流出、固定屋根式タンクの側壁と屋根接合部の損傷、側板破口による

	油漏洩などの被害が発生。
十勝沖地震 2003.9.26 M8.0	苫小牧、胆振東部、石狩北部の 1,000kL 以上のタンク 306 基のうち、172 基にスロッシング被害が認められた。火災が苫小牧で 2 基、浮き屋根や浮き蓋の沈没が苫小牧で 8 基、石狩北部で 1 基発生。苫小牧で地震の 2 日後に発生した火災は、ナフサタンクの浮き屋根沈没に起因した全面火災で 44 時間燃え続けた。
東北地方太平洋沖地震 2011.3.11 M9.0	太平洋岸の久慈では津波により屋外タンク貯蔵所等が破損し、地上設備の多くも津波により破損。仙台地区では津波火災により屋外タンク貯蔵所等が焼損し、複数の特定事業所の屋外タンクの付属配管等が破損し、石油が流出。いわきでは液状化、側方流動によってタンクが被害。鹿嶋では津波によるバース配管の損傷や岸壁の崩落が発生。日本海沿岸地域では、スロッシングによる浮き屋根のポンツーン破損、浮き蓋の破損(酒田)、デッキ上への油の溢流被害(新発田,新潟)が発生。東京湾岸では浮き屋根や浮き蓋沈没、ポンツーンの破損(川崎)などの被害が発生。市原では球形貯槽の鋼管ブレースが破断し、LPG 貯蔵施設で火災が発生、複数のタンクが炎上。大津波により、多くの設備に流出等の被害発生。

2.1.2 高圧ガス設備

1964 年新潟地震から 2011 年東北地方太平洋沖地震まで、過去の地震・津波による高圧ガス設備の被害概要を**表 2.1-2** に示す。

同表より、高圧ガス設備の地震被害の報告は少ないことがわかる。このうち 1995 年兵庫県南部地震で、神戸市御影浜地区において LPG タンクの接続配管フランジからガス漏れが発生した被害は、地盤の液状化に伴う護岸の数 m にも及ぶ側方流動が発生しことに起因した被害で（**図 2.1-1**）、約 70,000 人もの近隣住民が避難する事態となった。なお、本地震被害を踏まえ、「高圧ガス設備等耐震設計基準」（以下、「耐震告示」と称する）に高レベル地震動を考慮した二段階設計法が導入され、また配管を追加対象として規定が整備され、1997 年に改正された。

表 2.1-2　高圧ガス設備の被害概要 [4)に加筆修正].

地　震	被害概要
新潟地震 1964.6.16，M 7.5	煙突が倒壊し、装置群に傾斜、沈下が生じた。
十勝沖地震 1986.5.16，M 7.9	被害報告なし。
宮城県沖地震 1978.6.12，M 7.4	仙台港塩釜地区において、配管に亀裂やフランジの緩みによりガス漏れが多発した。
日本海中部地震 1983.5.26，M 7.7	被害報告なし。
千葉県東方沖地震 1987.12.17，M 6.7	被害報告なし。
釧路沖地震 1993.1.15，M7.8	被害報告なし。
北海道南西沖地震 1993.7.12，M7.7	被害報告なし。
三陸はるか沖地震 1994.12.28，M7.5	被害報告なし。
兵庫県南部地震 1995.1.17，M7.2	神戸市御影浜地区において、LPG タンクの接続配管フランジからガス漏れが発生した。
十勝沖地震 2003.9.26，M8.0	被害報告なし。
東北地方太平洋沖地震 2011.3.11，M9.0	千葉県市原市において、球形貯槽の鋼管ブレースが破断し、爆発・火災が発生した。また、東北地方から関東地方沿岸域で大津波により、多くの設備に流出等の被害が発生した。

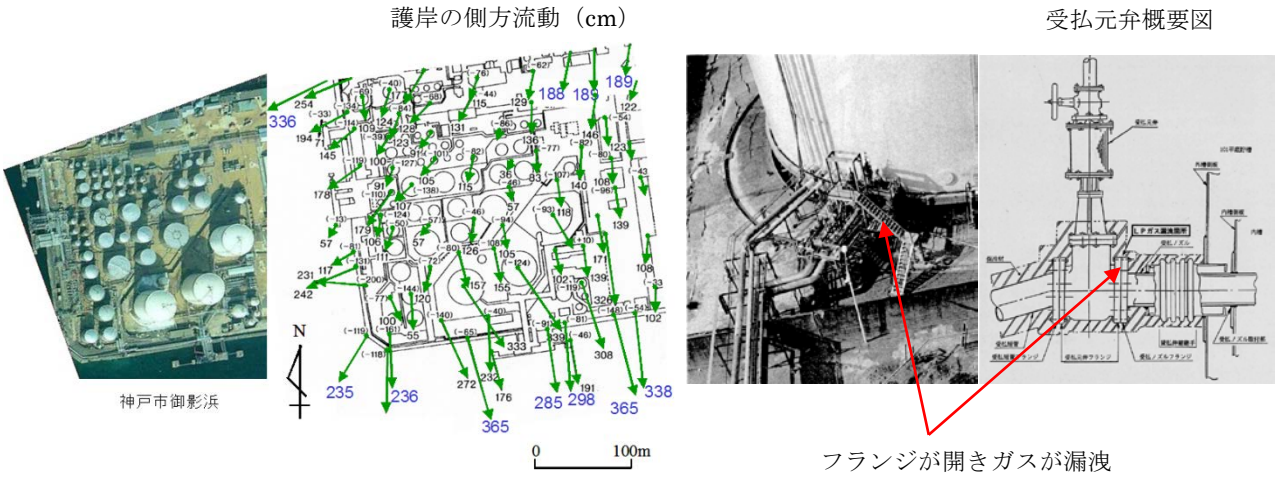


図 2.1-1　LPG タンク配管からのガスの漏洩（1995 年兵庫県南部地震）[5),6)に加筆]

2.2 詳細事例　～東北地方太平洋沖地震および津波による設備被害～

2.2.1 危険物施設

2011 年東北地方太平洋沖地震では、北海道から静岡県まで太平洋側の都道県で広域に及び種々の危険物施設が損傷を受け、大津波により津波浸水区域で様々な危険物施設の損壊、流出等の被害が発生した。

消防庁の調査によると、今回の地震で被害があった都道県内の全危険物施設数（平成 22 年 3 月 31 時点）211, 877 施設のうち、3,324 施設（約 1.6%）が被害を受け（地震被害 1,404 施設、津波被害 1,807 施設、判別不明 113 施設）、火災が 42 件、危険物の漏洩事故が 122 件発生した [7]。地域毎の被害状況の特徴は、以下のとおりである [7]。

○ 太平洋側のコンビナート被害の特徴

① タンク・配管の浮上、移動，地盤・基礎の洗掘（タンク底板の破断）等、津波による被害が多く見られた。

② やや長周期地震動（周期 1 秒から 20 秒程度の地震動）によるスロッシング（液面揺動）は小さく、浮き屋根の顕著な被害は見られなかった。

③ 短周期地震動による側板座屈、浮き上がり等の被害は見られなかった。

④ 地盤の液状化が発生した。

○ 日本海側のコンビナート被害の特徴

スロッシングによる浮き屋根のポンツーン（浮き室）破損、デッキ上への溢流被害が多く発生した。

○ 東京湾岸のコンビナート被害の特徴

スロッシングによる浮き屋根沈没、デッキの割れなど地震動による被害が多く発生した。

危険物施設の被害事例として、仙台地区における危険物の漏洩状況を**写真 2.2-1** に示す。また、気仙沼での津波により移動、倒壊したタンクやタンク基礎の状況を**写真 2.2-2**、**写真 2.2-3** に示す。液状化被害については、いわきや鹿島地区での被害状況を**写真 2.2-4**、**写真 2.2-5** に示す。

①津波はタンク底板から約 3.5m まで到達、当該タンクは空であったが浮上や移動の現象は見られない。
②、③ 多数の配管の折れ曲がり、危険物が漏えいした。
④護岸、桟橋、防油堤の損傷が大きかった。
⑤スロッシング波高は約 1m で、浮き屋根上に油が流出した。

写真 2.2-1　危険物の漏洩状況（2011 年東北地方太平洋沖地震）[8)]

写真 2.2-2　津波により移動・倒壊したタンク（2011 年東北地方太平洋沖地震）[8)]

写真 2.2-3　津波によりむき出しになったタンク基礎（2011 年東北地方太平洋沖地震）[8)]

写真 2.2-4　液状化によるタンクの沈下・基礎の変形（2011 年東北地方太平洋沖地震）[7)]

写真 2.2-5　液状化による防油堤の沈下・傾斜（2011 年東北地方太平洋沖地震）[7)]

2.2.2 高圧ガス設備

2011 年東北地方太平洋沖地震では、北海道から静岡県まで太平洋側の都道県で広域に及び種々の高圧ガス設備が損傷を受け、大津波により津波浸水区域で様々な高圧ガス設備や容器の損壊、流出等の被害が発生した。

経済産業省は地震直後にアンケート調査や現地調査を実施し、高圧ガス設備等の地震被害状況の調査、分析を行っている [7)]。調査、分析結果の一例として、東北 3 県（岩手県、宮城県、福島県）の高圧ガス保安法適用事業所 3,730 に対して行ったアンケート調査結果では、1,817 事業所より回答があり、そのうち約 2 割の 389 事業所で地震・津波被害があった（地震被害 45%(176)、津波被害 22%(85)、地震・津波被害 8%(31)、その他 25%(97)）。高圧ガス施設等の種類別被害発生件数は、**図 2.2-1** に示すとおりであるが、事務所等の倒壊・破損、配管・弁等の変形・破損、容器置場等の倒壊・破損が主な被害であった。津波による高圧ガス設備・容器の流出状況については、**図 2.2-2** に示すとおりであり、設備の流出に比べ、容器の流出が非常に多かった。

また、震災により 2m 以上の津波警報が発令された北海道から静岡県までの太平洋側の道県及び震度 5 強以上震度を観測した県のコンビナート等保安規則適用事業所 158 に対して行ったアンケート調査結果では、**表 2.2-1** に示すとおり 42 事業所において被害の回答があった。このうち火災・爆発については、宮城県の製油所の火災による LP ガス出荷施設の焼損、千葉県市原市の製油所の LP ガス出荷施設の火災・爆発事故及び当該事故による近隣事業所の火災 2 件の合計 4 件であった。特に千葉県市原市の製油所及び近隣事業所の火災・爆発事故は、近隣住民約 1,000 人に一時避難勧告が出される等、社会的に大きく扱われた事故となった（**写真 2.2-6**）。事故の概要を以下に示す。

2011 年 3 月 11 日、14:46 の本震で、製油所内の球形貯槽の鋼管ブレース交差部分が破断し、続いて 15:15 の最大余震で支柱が座屈して倒壊した。これにより、隣接の配管が破損し、LP ガスが漏洩して、大規模な爆発・火災に至り、LP ガス出荷施設（球形貯槽 17 基）が全焼、全損した [7),9)]。当該球形貯槽は、耐震基準を満たしていたものの、内容物が LP ガスでなく開放検査のために一時的に重量が 2 倍の水が注入され満水状態であったことが倒壊の原因とされている。なお、千葉県市原市の震度は本震 5 弱（114gal）、最大余震 4（99gal）であった。また、一部の配管の緊急遮断弁が開状態で固定されたままで機能せず、LP ガスの漏洩を防止できなかったことも原因とされている。鋼管ブレースの損傷については、茨城県内の LP ガス球形貯槽 2 基（ブタンと水満水）についても確認された。

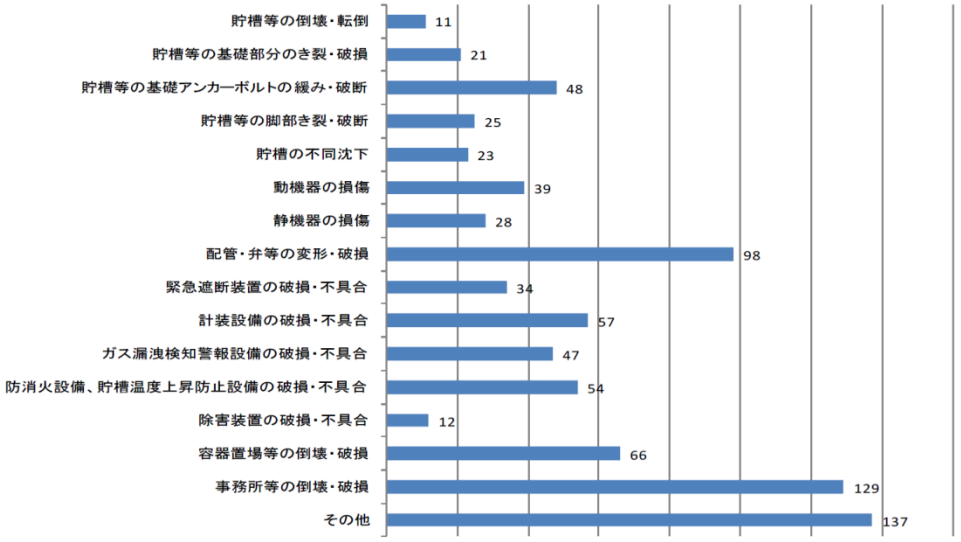


図 2.2-1　東北 3 県の高圧ガス施設等の種類別被害発生件数（2011 年東北地方太平洋沖地震）[7)]

図 2.2-2　東北 3 県の津波による高圧ガス設備・容器の流出状況（2011 年東北地方太平洋沖地震）[7)]に加筆修正

表 2.2-1　コンビナート等保安規則適用事業所の被害状況（2011 年東北地方太平洋沖地震）[7)].

道府県	事業所数	被害の有無（事業所数）		被害の分類毎の事業所数（複数回答あり）					被害を受けた事業所の震度・加速度の最低値	
		無し	有り	火災・爆発	漏洩	高圧ガスの通る部分の損傷	基礎等の構造物の損傷	不明・調査中	震度	gal
北海道	4	4								
青森県	2	1	1			1	1		5弱	
宮城県	3	0	3	1	2	3	2	1	6強	464
福島県	2	0	2			1	1	1	6弱	310
栃木県	2	0	2		1		2		5強	259
群馬県	1	1	0							
茨城県	42	20	22		1	8	11	6	5強	197
千葉県	43	36	7	3	2	3	1		5弱	98
神奈川県	57	52	5			4	2		5弱	111
新潟県	1	1								
静岡県	1	1								
合計	158	116	42	4	6	20	20	8		

写真 2.2-6　球形貯槽の爆発・火災（2011 年東北地方太平洋沖地震）[8),9)]

2.2.3 火力発電所

(1)既往地震・津波災害における火力発電所被害

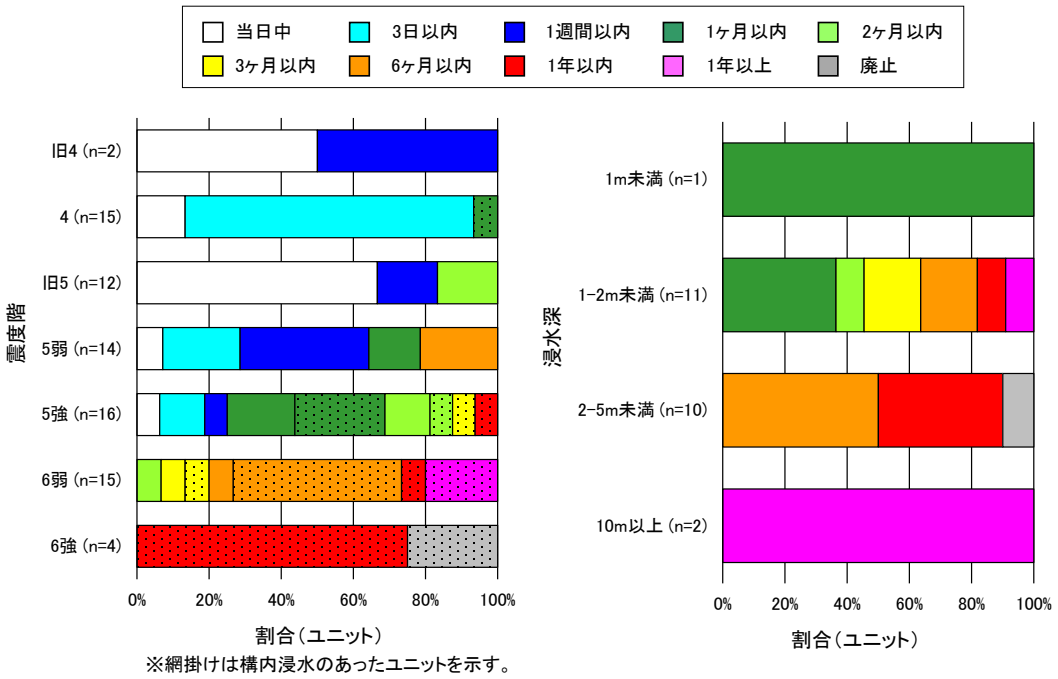
文献 10）では、1960 年～2016 年に国内で発生した主な地震 61 件（うち、津波を伴うもの 4 件）を対象とし、火力発電所への影響に関して文献ベースの調査を行なっており、以降、その結果の概要をまとめることとする。なお、対象とした地震の中で、運転支障や設備障害等の火力発電所への何らかの影響が確認された地震は 17 件、火力発電所数は延べ 58 件である（**表 2.2-2**）。

表 2.2-2　火力発電所への影響が確認された地震一覧 [10].

No.	年月日 時刻	地震名（*津波あり）	*M* 注)	影響が確認された火力発電所数
1	1964/06/16 13:01	新潟地震*	7.5	3
2	1968/05/16 09:48	十勝沖地震	7.9	1
3	1978/06/12 17:14	宮城県沖地震	7.4	3
4	1983/05/26 11:59	日本海中部地震 *	7.7	2
5	1987/12/17 11:08	千葉県東方沖地震	6.7	2
6	1993/01/15 20:06	釧路沖地震	7.5	1
7	1993/07/12 22:17	北海道南西沖地震 *	7.8	2
8	1995/01/17 05:46	兵庫県南部地震	7.3	10
9	2000/10/06 13:30	鳥取県西部地震	7.3	1
10	2001/03/24 15:27	芸予地震	6.7	1
11	2003/05/26 18:24	宮城県沖地震	7.1	1
12	2003/09/26 04:50	十勝沖地震	8.0	1
13	2005/08/16 11:46	宮城県沖を震源とする地震	7.2	1
14	2007/03/25 09:41	能登半島地震	6.9	1
15	2011/03/11 14:46	東北地方太平洋沖地震 *	9.0	26
16	2016/04/16 01:25	熊本地震（本震）	7.3	1
17	2016/11/22 05:59	福島県沖を震源とする地震	7.4	1

注）気象庁マグニチュード、ただし東北地方太平洋沖地震はモーメントマグニチュードの値

図 2.2-3 には、発電支障が発生したユニットを対象として、震度階と運転再開までの期間、及び、津波浸水深と停止期間との関係がそれぞれ示されている。図 2.2-3(a)に示す震度階の値は発電所の所在市町村での値であり、基本的には気象庁のデータベース [2]に基づいて推定されたものである。図 2.2-3(b)に示す浸水深は各発電所構内での最大浸水深の値となっている。図 2.2-3(a)には、震度階及び停止期間の双方を特定することができた 15 地震、延べ 41 発電所 78 ユニット分のデータが、図 2.2-3(b)には、構内浸水が発生した 9 発電所 24 ユニット分のいずれも 2011 年東北地方太平洋沖地震によるデータがそれぞれ示されている。これらより、一般的には、震度階または浸水深が大きくなるほどに停止期間が長くなるという傾向が明らかである。例外的に、外力の大きさが同程度の他の発電所と比べて復旧までの期間が長期化している事例がみられる。具体的には、震度 5（旧）の事例において、多くの発電所では当日または 1 週間以内に運転が再開されているのに対して、1964 年新潟地震時の新潟発電所では、液状化により埠頭設備や取放水路等が広範囲に被災したため、復旧に約 1 ヵ月半を要している。



(a) 震度階との関係　　(b) 浸水深との関係

図 2.2-3　外力の大きさと運転再開までの期間の関係 [10]

(2) 地震・津波による機能低下及び復旧遅延の要因

文献 10）では、前項で示した火力発電所の被災事例に基づき、地震発生後の発電機能の低下及び復旧遅延が発生し得るプロセスを、概念的に図 2.2-4 のようにまとめている。発

災後に発電が停止するケースには自動停止と運転員の判断による手動停止の 2 通りがあるが、自動停止の事例としては、タービンの軸振動大、ボイラー内の圧力変動やチューブリーク等の発電設備の異常によるものと送電線等系統の異常に起因するものとがある。これらの場合において点検の結果、設備被害が見当たらなかった場合には、概ね当日から 3 日以内に運転が再開されている。発電所設備に物理的被害が生じた場合には、その程度に応じてより長期的な機能の低下・停止が発生するとともに、設備によっては 2 次災害を引き起こすことがある。例えば、1983 年日本海中部地震では秋田発電所において燃料タンクの火災が発生し [12)]、2011 年東北地方太平洋沖地震時でも原町発電所の事務本館において制御ケーブルを原因とする火災が発生している [13)]。発電に必要となる燃料、工業用水、電気等の各種ユーティリティの供給支障は発電機能及び復旧活動に影響を与える。例えば、電気は、停止したタービンのターニングに必要である他、機器類の動作確認ができなくなり設備点検に困難が生じることとなる。加えて、復旧速度に関する要因としては、要員や資機材等の復旧資源の確保状況と周辺施設の被害がある。例えば、2011 年東北地方太平洋沖地震時において鹿島共同発電所、広野発電所、常陸那珂発電所では建設工事中であったためゼネコンや土木技術者が構内に常駐しており、道路復旧や撤去工事に迅速に取り掛かれたという事例がある [13)]。一方で、過去の災害では道路被害や輸送手段、ガソリン不足等により復旧資源の調達に困難が生じたケースもある [14)]。さらに、周辺施設の被害は安全な作業環境の確保という面で影響を与え得る。

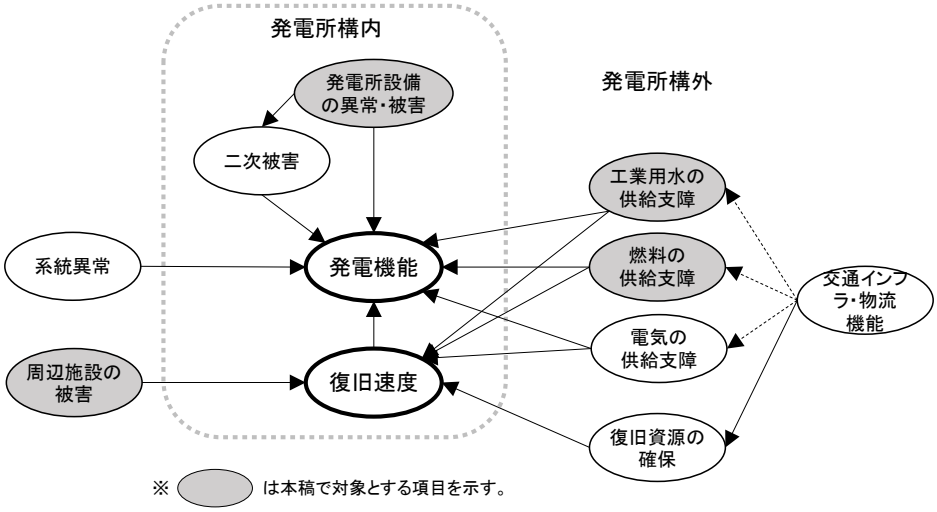


図 2.2-4　発電機能の低下・復旧遅延の要因 [10)]

(3) 発電所設備の被害

発電所設備の被害の発生傾向として、地震動による被害事例が多い設備はボイラーである。振れ止めやスペーサ管の軽微な被害の場合には数日内に稼動を再開できるケースが多いが､チューブの損傷や取替が必要となった場合には足場の組み立ても含めて時間を要し、支持鉄骨に被害が生じた場合にはさらに停止が長期化する可能性がある。また、軟弱地盤に設置されることの多い取放水設備には液状化被害が発生し得る。津波被害は沿岸部の燃料受入設備に多く発生している。

(4) 工業用水の供給支障

火力発電所での工業用水の利用用途は、主にボイラー補給水、軸冷却、排煙処理等であり、石炭火力発電所の場合は貯炭管理にも使用される。設備仕様や運用方式によりその値は異なるものの、例えば、50万kW級の石炭火力発電所では約5,000m^3/日として計画されている[15)]。工業用水の停止が発生した事例としては、1995年兵庫県南部地震における尼崎東発電所、2011年東北地方太平洋沖地震における八戸発電所、原町発電所、広野発電所、常陸那珂発電所、酒田共同火力発電所等が挙げられる。これらの中で、尼崎東発電所と酒田共同火力発電所は、地震による設備被害が軽微であったため早期に発電の準備が進められたが、工業用水の途絶が再開の支障となり、表2.2-3に示すような緊急対応が実施された。一方、設備被害の甚大であった原町発電所では工業用水の途絶により発電用石炭の管理が困難となったため、2011年7月以降の9ヶ月間にわたり石炭の構内搬出が行われた。さらに工業用水は通常の操業に必要なだけでなく、復旧作業においても使用される。具体的には津波で浸水した機器類の洗浄に使われることがあり、その停止は復旧の遅延につながり得る。

表 2.2-3　工業用水の供給支障事例 [10)].

地震名	発電所	概要
1995年 兵庫県南部	東尼崎	市内の水道配管損傷により工業用水、上水がともに断水し、運転時間に制約が生じた。対応として、排煙脱硫装置の停止、代替燃料（超低硫黄燃料油）の緊急調達（1/20、24）、南港発電所からの工業用水緊急輸送（1/25～2/14、2,400t）を実施。
2011年 東北地方太平洋沖	酒田共同	県企業局の工業用水送水管損傷により断水。国交省、酒田市、東北電力、民間企業等からの給水車・散水車計約30台により24時間態勢で敷地内仮設プールに水をピストン輸送し、3/14に予定通り2号機が運転再開。工業用水の給水再開は3/16 7:50。

(5) 燃料の供給支障

火力発電所の運転には安定的な燃料の供給が不可欠であり、地震・津波により燃料の確保に支障が発生した場合、運転継続や発電再開への影響は大きい。過去の地震・津波災害において外部からの燃料供給に支障が生じたケースを**表**2.2-4に示す。これより、比較的設備被害の軽微であった八戸発電所、君津共同発電所において運転に支障が生じ、付随する対応が必要となったことが確認できる。

表 2.2-4　燃料の供給支障事例 [10].

地震名	発電所	概要
1978年 宮城県沖	新仙台	東北石油・仙台製油所で漏油事故が発生。事故により発電に抑制が生じたため、7/5まで東京への広域融通送電を減少。
2011年 東北地方太平洋沖	八戸	製油所・油槽所、輸送用タンクローリーの被災により起動用軽油の調達が困難となったため、能代火力から緊急輸送（3/18～20、130kl）。
	仙台	発電所へガスを供給する石油資源開発所有の新潟・仙台ガスパイプラインが一部区間被災。
	新仙台	重油供給元であるJX・仙台製油所が被災。
	君津共同	新日鐵住金・君津製鐵所が安全点検のため3/11夕方より停止したことにより、ガスの供給が停止。3/14早朝までガスタービンの運転停止。

(6) 周辺施設の被災による影響

火力発電所はその操業において大量に必要となる燃料及び冷却水の調達の観点から、沿岸部の工業地帯やコンビナートに立地するケースが多い。これらの地域が大規模な地震や津波に襲われた場合、立地する製油施設や化学プラントの被害が爆発火災、延焼等の2次災害を引き起こす可能性があるとともに、化学物質の漏洩による環境汚染や有毒ガスの発生等、周辺での復旧活動に制約を受ける可能性がある。1995年兵庫県南部地震では隣接するLPガス貯蔵施設からのLPG漏洩が生じたことを受けて避難勧告が行われ、東灘ガスタービン発電所の復旧作業員の避難が行なわれた。また、2011年東北地方太平洋沖地震の際には、新仙台発電所において近隣製油所の火災により避難勧告が出されたため、3月12日から3月28日の間、寮を拠点として復旧活動が実施された。さらに直接的な影響はなかったものの、五井火力発電所でも隣接する製油所で火災が発生し、鎮火までに10日を要している。

2.3 省庁・自治体のコンビナート防災の考え方

2.3.1 省庁のコンビナート防災の考え方

2011 年東日本大震災等を踏まえ、総務省消防庁「石油コンビナート等防災体制検討会」では、石油コンビナート防災の主な課題と対応の考え方について、以下のような提言を行っている[16)]。

○ 全体的な枠組みに関する事項

① 災害想定（防災アセスメント）における大規模災害への対応

② 最大クラスの地震･津波の発生に伴う石油コンビナート災害への対応の考え方

③ 石油コンビナート災害の特殊性に対応した防災体制の充実強化

④ 石油コンビナート防災に係る継続的な改善の仕組み

○ 個別の応急対策に関する事項

① 石油コンビナート等防災本部における迅速・円滑な情報把握

② 事業所における通報連絡や情報共有の徹底強化

③ 地震及び津波発生時の自衛防災活動と安全管理

④ 住民への適切な情報伝達及び避難誘導等

⑤ コンビナート周辺の社会的に重要な施設への的確な情報伝達及び影響防止

また、2011 年東日本大震災等を踏まえ、国土交通省はコンビナート港湾における地震・津波対策検討会議を設置した。危険物タンク保安及び高圧ガス設備保安の監督官庁は、それぞれ総務省消防庁、経済産業省資源エネルギー庁であるが、同会議は省庁横断的会議として組織され、コンビナート港湾における地震・津波対策に関する基本的考え方等が示された[17)]。以下に同会議資料の抜粋を示す。

○ コンビナート港湾における地震・津波対策に関する基本的考え方[17)]

コンビナート港湾における大規模な石油タンク等については、液状化対策も含めた耐震対策は概ね完了しており、既知の地震動による石油等の大規模な流出の危険性は極めて低い。一方、耐震対策が未了の施設も残ることから、早期改修を進めるとともに、予防規程等の充実など津波対策を推進していく必要がある。

また、高圧ガス施設等については、東日本大震災において、球形貯槽の脚部の筋交いに損傷を受けたため、球形貯槽の脚部の筋交いについて耐震設計基準を見直す必要がある。それ以外に新たな義務づけを必要とする事故、損傷はなかった。また、事業者における既存設備の耐震設計基準等への適合状況の確認を進める必要がある。津波対策としては高圧ガス設備を安全に維持できる状態にするための機能を義務づける必要がある。また、事業

者は設備の破損等の想定を行い、被害低減策の実施のほか、自治体に提示し、地域の津波対策に反映する必要がある。

さらに、コンビナート港湾の被災によるエネルギーや物流、産業活動への影響を最小限に抑えていくためには、中央防災会議において検討されている最大規模の地震・津波に対しては各事業所における対策にも限界があることから、コンビナートや船舶の被災等、最悪の事態も想定した上で、コンビナートが集積する東京湾等の物流、産業、エネルギー供給機能を維持するための事前・事後の対策を併せて取る必要がある。

上記のコンビナート防災に対する考え方の下に、例えば経済産業省では高圧ガス設備の地震・津波対策について、様々な取り組みを行ってきている。主な取り組みの概要は、以下に示すとおりである。

① 球形貯槽の鋼管ブレース（筋交い）の破断被害を踏まえ、水等を満たしている時に倒壊してもガスの漏洩が発生しないよう措置を行うこと、期間を必要最小限とすること等、高圧ガス保安法令関係例示基準を平成 23 年 12 月に改正した。

「耐震告示」については、鋼管ブレース交差部分の評価規定を追加し、平成 25 年 11 月に改正した。

その他、既存の高圧ガス設備の耐震性向上対策について、高圧ガス保安法は不遡及が原則であるが、鋼管ブレースを有する既存球形貯槽、さらにコンビナート等保安規則の特定製造事業所における重要度の高い Ia、I の既存耐震設計設備及び基礎の最新「耐震告示」へ適合するよう（必要な場合には耐震補強）求めた通達を、平成 26 年 5 月に各都道県知事宛に行った。

② 既存耐震設計設備及び基礎の耐震補強を行う各事業者に対し、平成 25 年度より資源エネルギー庁は石油供給インフラ強靭化事業として補助金を交付している。また、エンジニアリング協会を通じ高圧ガス設備の耐震補強支援事業として、補助金を交付している。

③ 平成 24 年、25 年に内閣府によって見直しされた想定南海トラフ巨大地震や首都直下地震に対し、高圧ガス設備の裕度を評価し、「耐震告示」の見直しの要否検討を含め、耐震告示の性能規定化に向けた調査研究を実施している。種々の実験的検討や解析的検討から、想定南海トラフ地震や首都直下地震に対して、現行「耐震告示」に適合する高圧ガス設備が損傷を受ける可能性は少ないとの結論に至っている [18)]。一連の調査研究より、今後も大規模地震想定が見直されることに対して事業者がより迅速に対応可能にする、設計地震動を高圧ガス設備の設置地域毎に事業者が設定可能とすることが

合理的であること等から、仕様規定である現行「耐震告示」はよりサイトスペシフィックに対応できるよう、近々性能規定化される予定である。

一方、津波に対しては、平成 24 年度から平成 26 年度の 3 カ年にわたって水理模型実験や流体解析より、既存津波波力算定式の評価等に関する調査研究を実施している[19]。また、新たに危害予防規程に定めるべき事項について検討している[20]

2.3.2 自治体のコンビナート防災の考え方

いくつかの自治体におけるコンビナート防災に対する基本方針を**表 2.3-1** に示す。その多くは、防災アセスメント調査結果や石油コンビナート等災害防止法の規定に基づいて目的を明示し、住民の安全性の確保や防災対策の推進を念頭に置いたものとなっている。

表 2.3-1　自治体のコンビナート防災の考え方.

自治体	目的及び基本方針
宮城県[21]（宮城県石油コンビナート等防災計画の見直し（案）について）	・平常時における事故の発生頻度の低減はもとより，東日本大震災と同等クラスの大規模な被害を伴う災害事象にも適切に対処し，被害を最小限に食い止めることができるよう，石油コンビナート防災の抜本的な強化が必要 ・県内はもとより，東北一円のエネルギー供給拠点としての機能を維持できる防災対策が必要 ・県石油コンビナート等防災計画、各防災関係機関の防災対策、事業所の防災規程等の対策への反映
茨城県[22]（茨城県石油コンビナート等防災アセスメント調査報告書）	防災アセスメントでは、まず対象とする石油コンビナート施設において平常時や地震時に起こり得る災害（大規模災害を含む）の発生と拡大のシナリオを描く。シナリオは、災害の引き金となる事象（初期事象）を先頭に記し、これに続く災害の拡大様相を防災設備の成否等により分岐させたイベントツリー（Event Tree ：ET）と呼ばれる図で表現する。この ET 図を基に、それぞれの災害の特性に応じて定量評価を行い、防災計画策定において想定すべき災害の種類や規模を特定する。その上で、災害の発生低減と影響低減という２つの観点から、防災対策を検討する上での基本方針について整理した。
千葉県[23]（千葉県石油コンビナート等防災	この防災計画は、石災法第３１条の規定に基づき、千葉県石油コンビナート等特別防災区域に係る災害の発生及び拡大防止等のため、総合的な防災対策の推進を図り、もって特別防災区域に係る災害から県民の生命、身体及び財産を保護することを目的とする。 特定事業者は、災害防止に対する第一次的責任を有し、特定事業所における防災対策

計画）	の強化と特定事業所等相互間の協力体制の確立により災害の発生及び拡大の防止を図るものとする。防災関係機関等の業務、役割を明確にするとともに、各機関相互の連携を密にして防災対策を推進するものとする。すべての防災関係機関等は、特別防災区域に係る災害の特殊性にかんがみ、災害の発生を未然に防止 するため、予防対策の充実と、初期防災活動に万全を期するものとする。その他事業所についても、特別防災区域に係る防災対策に準じた対策を取るよう指導するものとする。
九都県市首脳会議 [24]	１．今後発生が懸念される「最大クラスの地震」を踏まえて、消防法、高圧ガス保安法、毒物及び劇物取締法等の技術基準の妥当性を検証し、必要に応じて見直すこと。 ２．災害時のエネルギーの安定供給等の観点から、事業者が行う液状化対策や津波浸水対策への支援の継続と拡充等に取り組むこと。 ３．長周期地震動に伴う屋外貯蔵タンクのスロッシング抑制技術の調査・研究を進めること。 ４．施設の経年劣化に対する維持管理技術の情報提供に努めること。 ５．経年劣化した施設の改修へのインセンティブの検討に取り組むこと。 ６．高度な知識や技術が要求されるコンビナートの防災対策を担う人材を、事業者が育成・確保できるよう、国として必要な支援を行うこと。 ７．石油コンビナートにおける大規模災害に対応するため、関係省庁による対策検討・調整の場を設置し、一元的に防災対策の推進に取り組むこと。
神奈川県 [25]	平常時又は地震時 (強震動) 第１段階の災害では、該当する施設において、災害の発生危険度を低減させることが最も重要になる。第２段階の災害では、発生危険度は小さいものの万一の事態に備えて、発災時の緊急対応や応援体制、隣接事業所への連絡体制、周辺地域に対する広報や避難対策などの検討･整備が必要になる。長周期地震動による災害では、現時点では地震動予測の精度は十分とは言えない。このことを踏まえると、防災対策は施設毎に具体的な対策を示すことよりも、より一般的な対策を検討する必要がある。対策の実施方針としては、まず従来の法規制に基づく予防対策（浮き屋根の耐震補強等）を進めることが最も重要となる。その上で、想定以上の被害の発生に備え、発災時の被害の局所化や、限られた対応力の中での効果的･効率的な災害対応、広域的な防災体制の確立など、応急対策の充実を図っていく必要がある。石油類の流出が防油堤外さらには事業所外に拡大していくような大規模災害の場合、発生する可能性が極めて低いものの、発生した場合の影響の大きさを考慮し、発災時の緊急対応や応援体制、隣接事業所への連絡体制、周辺地域に対する広報や避難対策の検討・整備など総合

	的な防災対策が必要となる。津波による災害では、施設の被害への対策だけでなく、二次災害の防止のための緊急措置、避難対策の検討・整備など総合的な防災対策が必要となる。
愛知県[26] （愛知県石油コンビナート等防災計画）	愛知県内の４か所の石油コンビナート等特別防災区域に係る災害の防止のための総合的な施策の推進を図り、もって特別防災区域に係る災害から県民の生命・身体及び財産を保護することを目的とする。 石油コンビナート等特別防災区域の特殊性にかんがみ、特別防災区域に係る災害が周辺地域に重大な影響を及ぼすおそれがあるところから、この計画では特に次の基本方針に沿って万全の防災体制を確立するものとする。 １．災害の防御にあたっては、地域住民の安全を最優先に考慮するものとする。 ２．特定事業者は、当該施設からの災害の発生及び拡大の防止について、第一次的責任を有するものとする。 ３．　防災関係機関は、相互に連携を密にして防災対策を推進するものとする。
三重県[27] （三重県石油コンビナート 防災アセスメント）	地域防災計画等を見直すため、国の推計結果等を参考に、県で想定すべき断層モデルを構築して南海トラフの巨大地震及び直下型地震に係る被害想定調査を行うとともに、三重県石油コンビナート等防災計画の見直しの基礎資料とするため、石油コンビナートの防災アセスメント調査を行っている。評価対象は、平常時の事故、地震動及び液状化による災害、長周期地震動による災害、津波による施設被害、大規模災害であり、防災計画の見直しに向けた検討も行っている。
福井県[28] （福井県石油コンビナート等防災計画）	石油コンビナート等災害防止法に基づき、福井臨海地区石油コンビナート等特別防災区域に係る災害の発生および拡大の防止等を図るため、関係機関および特定事業者の行うべき業務を明確にするとともに、総合的かつ計画的な防災対策の推進を図り、もって特別防災区域に係る災害から地域住民の生命、身体および財産を保護することを目的としている。関係機関および特定事業者は、防災体制の整備、災害の予防および災害応急対策の実施に万全を期することを基本方針とする。
大阪府[29] （大阪府石油コンビナート等防災計画）	大阪府石油コンビナート等防災計画（以下、「防災計画」という。）は、石油コンビナート等災害防止法（昭和 50 年法律第 84 号。以下「石災法」という。）第 31 条の規定に基づき、特別防災区域に指定された大阪北港地区、堺泉北臨海地区、関西国際空港地区及び岬地区に係る災害の未然防止と発生 した災害の拡大を防止するため、防災関係機関、特定事業所及びその他事業所の処理すべき事務又は業務を明確にするとともに、災害の予防対策及び応急活動等必要な事項を定めることにより、総合的 かつ計画的な

	防災・減災対策の推進を図り、もって特別防災区域に係る災害から府民の生命、身体及び財産を保護することを目的とする。 特別防災区域に係る災害は、火災、爆発、石油等の漏洩若しくは流出その他の事故又は地震、津波 その他の異常な自然現象により生じる被害で、大規模かつ特殊な態様となる可能性があり、かつ周辺 地域に重大な影響を及ぼすおそれがある。南海トラフ巨大地震の発生が懸念される中、人命安全の確 保やエネルギー・産業基盤の強靭化、社会的機能の維持が急務となっており、防災計画の作成に当た っては、府民の安全を優先すること、並びに防災関係機関、特定事業所及びその他事業所の相互連携 による防災活動の一体化を図ることを基本方針とし、次の諸点について配慮するものとする。 １ 防災関係機関、特定事業所及びその他事業所は、特別防災区域に係る災害の特殊性を考 慮し、災害発生を未然に防止するための予防対策の充実を図るとともに、災害発生時の初期 防災活動に全力をあげて取り組む。 また、相互に緊密な連携を図るとともに、施策の重点化や優先順位付けに十分配慮し、特別防災区域における一体的な防災体制の整備に努める。 ２ 防災計画の基本目標（方針）として以下の３項目を掲げ、防災・減災対策を推進する ものとする。 従業員を含めて人命は損なわない、安全を確保することが原則 一般地域への影響の最小化を図る 我が国の社会経済活動を機能不全に陥らせないよう、燃料やエネルギー等の供給能力を最 低限確保するとともに早期の復旧・復興に貢献する ３ 特定事業者は、災害の発生及び拡大の防止に関し万全の措置を講ずべき責務を自覚し、 防災計画に基づいて具体的措置を実施し、防災体制の充実強化に努める。 ４ 防災関係機関は、防災計画に基づいて具体的措置を実施し、防災体制の充実強化に努め る。 ５ 防災計画は、災害対策基本法、消防法、高圧ガス保安法その他の防災関係法令と十分調 整を図り運用するものとし、この計画に定めのない事項は、災害の状況に応じ、大阪府地域 防災計画及び関係市町地域防災計画等の関連事項を準用するなど、緊密な連携のもとに円滑 な運用を図る。 ６ 防災計画の目的を果たすため、防災関係機関、特定事業所及びその他事業所は、平素か ら調査研究、情報の交換、訓練の実施、その他の方法により、防災計画の習熟に努める。
香川県[30)] （香川県石	香川県石油コンビナート等防災計画は、石油コンビナート等災害防止法の規定に基づき、香川県石油コンビナート等防災本部が作成する計画。大量の石油又は高圧ガスが集

油コンビナート等防災計画）	積している番の州地区に係る防災対策を総合的かつ計画的に推進し、県民の生命、身体及び財産を災害等から保護することを目的としています。東日本大震災による石油コンビナート事業所の被害や近年の石油コンビナート事故等の状況を踏まえ、これまで実施してきた防災対策の一層の強化を図り、地域住民の生命、身体及び財産を守り、安全・安心に暮らせる香川づくりを進めた。香川県石油コンビナート等防災アセスメント調査結果を災害想定に反映する、災害想定を踏まえ、防災対策の拡充を図る、「香川県地域防災計画」との整合性（地震・津波想定等）を確保する等の見直しを行っている。
岡山県[31)] 石油コンビナート等防災計画（水島臨海地区） （岡山県石油コンビナート等防災本部）	この計画は，石油コンビナート等災害防止法（昭和 50 年 12 月 17 日法律第 84 号）第 31 条の規定に基づ き，岡山県石油コンビナート等防災本部が作成する計画であって，水島臨海地区〔石油コンビナート等特別防 災区域を指定する政令(昭和 51 年政令第 192 号)〕に係る災害を未然に防止し，又は，災害が発生した場合， その災害の拡大を防止するため防災関係機関の業務を明確にするとともに，これら防災関係機関が一体となっ て総合的防災対策の推進を図り，もって地域住民の生命，身体及び財産を災害から保護することを目的とする。 なお，岡山県内の特別防災区域のうち，福山・笠岡地区に係る防災計画については，広島県及び岡山県の両 県をもって設置される広島県及び岡山県石油コンビナート等防災本部協議会において作成する。 水島臨海地区の石油及び高圧ガス等の施設は，消防法（昭和 23 年法律第 186 号）高圧ガス保安法（昭和 26 年法律第 204 号）及び毒物及び劇物取締法(昭和 25 年法律第 303 号)等の基準に基づいて設置され，管理さ れているところであるが，危険な物質が大量に扱われているので災害が発生する危険性が大きく，一旦災害が 発生すればその規模・態様は広範囲かつ複雑であり，地域住民の社会生活に重大な影響を与えることとなる。 したがって，本計画では，特に次の基本方針に沿って万全の防災対策を確立するものとする。 なお，防災関係機関はそれぞれの立場から実施細目を検討し，具体的な活動計画を別に整備するものとする。 １ 関係事業所は，災害の発生及び拡大の防止について，第１次的責任を有するものとする。 ２ 災害防御の主眼は，住民の安全対策を優先的に行うものとする。 ３ 防災関係機関及び関係事業所は，相互に連けいを密にして防災対策を推進するものとする。
山口県[32)]石油コンビナ	石油や高圧ガスを大量に取り扱う地域は、石油コンビナート等災害防止法（以下「石災法」）により石油コンビナート等特別防災区域として指定される。現在３２道府県で８

ート	３地域が指定され、山口県には５つの特別防災区域がある。ちなみに１の都道府県内に５つ以上の特別防災区域内があるのは、全国でも３道県(山口、北海道、鹿児島)だけである。特別防災区域内では災害の発生・拡大を防止するため、石油コンビナート等防災本部を中心に、区域内の総合的な防災体制の確立に努めている。 ・山口県石油コンビナート等防災計画 ・岩国・大竹地区石油コンビナート等防災計画
福岡県[33)] （福岡県石油コンビナート等防災本部）	この計画は、石油コンビナート等災害防止法（昭和 50 年法律第 84 号）第３１条の規定に基づき、福岡県石油コンビナート等防災本部が作成する計画であり、本県における石油コンビナート等特別防災区域に係る災害の発生及び拡大の防止等のための総合的な施策の推進を図り、も って石油コンビナート等特別防災区域に係る災害から地域住民の生命、身体及び財産を保護することを目的とする。石油コンビナート等特別防災区域の特殊性にかんがみ、特別防災区域に係る災害が周辺地域に重大な影響を及ぼす恐れがあるところから、この計画では特に次の基本方針に沿って万全の防災体制を確立するものとする。 １ 防災関係機関は、その果たすべき責務を認識し、平素から防災体制の整備を災害発生の防止に万全の措置を講ずるものとする。 ２ 災害の防御に当たっては、地域住民の安全を最優先に考慮するものとする。 ３ 特定事業者は、当該施設からの災害の発生及び拡大の防止について、第１次的責任を有するものとする。 ４ 防災関係機関は相互に協力して防災対策を推進するものとする。
大分県[34)] （大分県石油コンビナート等防災本部）	この計画は、石油コンビナート等災害防止法（昭和 50 年法律第 84 号、以下「石災法」という。）第 31 条の規定に基づき、石油コンビナート等特別防災区域（以下「特別防災区域」という。）に係る災害の発生及び拡大の防止等を図るため、大分県石油コンビナート等防災本部（以下「防災本部」という。）及びその構成員が処理すべき事務又は業務の大綱及び行動の基準等を定め、相互の連絡調整を円滑にするとともに、総合的かつ計画的な防災対策の推進を図ることにより、特別防災区域に係る災害から県民の生命、身体及び財産を保護することを目的とする。地震・津波対策に関しては、南海トラフ地震に係る地震防災対策の推進に係る特別措置法（平成 14 年法律第 92 号）第 5 条第 2 項の規定に基づき、南海トラフ地震防災対策推進地域に存する特別防災区域について、南海トラフ地震に関し、地震防災上緊急に整備すべき施設等の整備に関する事項等を定め、特別防災区域における地震防災体制の推進を図ることを目的とする。

鹿児島県[35)] （鹿児島県石油コンビナート等防災本部）	この計画は，石油コンビナート等災害防止法第 31 条に基づき，本県における石油コンビナート等特別防災区域に係る災害の発生及び拡大を防止するため，特定事業者の責務並びに防災関係機関等の業務を明確にし，総合的な施策の実施推進を図り，もって特別防災区域に係る災害から地域住民の生命，身体及び財産を保護することを目的とする。基本方針は (1) 特定事業者は，特別防災区域に係る災害防止に対する第一義的責任者として，当該事業所における防災対策の強化により，災害の発生及び拡大の防止を図るものとする。 (2) 災害応急活動に従事する各機関の業務，役割を明確にするとともに，関係機関相互の連携強化に努め，一体的防災活動の確保を図るものとする。 (3) 特別防災区域に係る災害の特殊性にかんがみ，災害の発生を未然に防止するための予防対策の充実と，災害発生初期の防災活動に万全を期するものとする。 　なお，この計画は鹿児島県の特別防災区域に係る防災対策に関する計画であり，防災に関する諸情勢の変化，科学的調査研究の成果等により，計画の充実合理化の必要が生じた場合は，これを修正補完し，逐次内容の完備を図るものとする。

2.4 詳細事例　～川崎市臨海部防災対策計画～

2.4.1 川崎市臨海部防災対策計画の策定ならびに改定の経緯

川崎市臨海部は、石油・石油化学、鉄鋼、セメント等の素材系産業や電力・ガス等のエネルギー産業、及び中小企業で構成される工業団地等が集積し、我が国の経済の一翼を担う極めて重要な地域である。このため、川崎市臨海部は石油コンビナート等災害防止法[36]に規定される特別防災区域に指定され、石油精製業、化学工業及び製鉄業等の特定事業所が多数立地している。これまで、川崎市における主要地方道・東京大師横浜線以南の地区を「臨海部」とし、これらの地域を主たる対象地域として、石油コンビナート等災害防止法に基づき、神奈川県石油コンビナート等防災計画[37]が策定されるとともに、川崎市地域防災計画・都市災害対策編並びに震災対策編において臨海部に係る事項の検討が行なわれてきた。

このような背景のもと、2013 年 4 月に、臨海部の災害の未然防止と災害が発生した場合の拡大防止のための「総合的運用計画」として、川崎市臨海部防災対策計画[38]が策定された。さらに、2013 年度から 2014 年度にかけて神奈川県石油コンビナート等防災アセスメント調査[39]が実施され、併せて 2016 年 3 月において神奈川県石油コンビナート等防災計画が修正されたことを受け、2017 年 11 月には川崎市臨海部防災対策計画の改正に至っている。以下の項では、川崎市臨海部防災対策計画の構成及び内容の概要について示すこととする。

2.4.2 川崎市臨海部防災対策計画の構成

川崎市臨海部防災対策計画は全 6 部で構成されている。

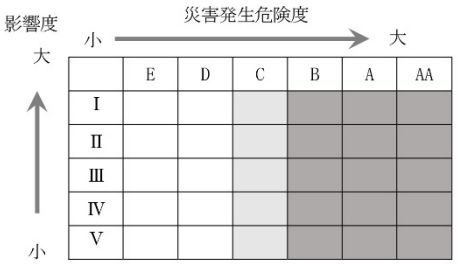
第 1 部の総則では、川崎市及び防災関連機関等がコンビナート防災に関して処理すべき業務の大綱が示されている。第 2 部の災害想定では、上述した神奈川県石油コンビナート等防災アセスメント調査による災害想定の該当内容が示されている。第 2 部を受けて、第 3 部の災害予防計画では災害発生の未然防止、または、被害を最小限とするため日頃から行なうべき措置等、第 4 部の応急対策では災害発生から応急対策の終了に至るまでの初動対策及び応急対策に係る措置等、第 5 部の復旧・復興対策では被災者及び事業所等の災害復旧・復興に向けて必要となる措置等がそれぞれ示されている。第 6 部の東海地震に関する事前対策計画では、大規模地震対策特別措置法で定める警戒宣言発令時の事前対策に係る事項が定められている。

2.4.3 災害想定の具体

第 2 部の災害想定における対象施設は、(1) 危険物タンク（屋外タンク貯蔵所）、(2) 高圧ガスタンク（可燃性及び毒性ガスタンク）、(3) 毒性液体タンク、(4) プラント（危険物製造所、高圧ガス製造施設、発電施設）、(5) パイプライン（導配管）、(6) 陸上入出荷施設（ローリー、取扱所等）、(7) 海上入出荷施設（タンカー桟橋）である。災害の形態については、(1) 平常時の事故（以降、「平常時」と呼ぶ）、(2) 強震動による被害（都心南部直下地震及び大正型関東地震）（以降、「地震時」と呼ぶ）、(3) 長周期地震動による被害（南海トラフ巨大地震）、(4) 津波による被害（南海トラフ巨大地震及び大正型関東地震）、(5) 大規模災害（可燃性高圧ガスタンクの BLEVE による災害及び製造施設等の爆発火災、また、石油類の海上流出及び防油堤火災からの延焼拡大）の 5 つのタイプが想定されている。(1)の平常時の事故並びに(2)の強震動による被害に対しては、事故の発生危険度並びに地震災害の発生確率を頻度並びに確率の高い順番で AA から A、B、C、D、E の 6 段階に区分した上で、個々の対象施設からの影響距離を I から V の 5 段階で区分し、**表 2.4-1** に示すようなリスクマトリックスに基づき、防災対策上想定すべき災害を、(1) 現実的に起こり得ると考えて対策を検討しておくべき災害：第 1 段階の災害、(2) 発生する可能性は相当に小さいと考えられるが、万一に備えて対策を検討しておくべき災害：第 2 段階の災害、(3) 発生する可能性が極めて小さく優先度は低いが、対策を講ずることが望ましい災害：低頻度大規模災害、の 3 タイプに区分されている。

以上を踏まえ、上記の災害の形態ごとに、コンビナートにおける防災対策の考え方が**表 2.4-2** に示すように整理され、第 3 部の災害予防計画、第 4 部の応急対策、及び、第 5 部の復旧・復興対策が策定されている。これらの中でも、2017 年 11 月の改定においては、特に、第 4 部の応急対策の一環として、避難計画の具体化がはかられた。次項ではその概要について紹介する。

表 2.4-1　施設評価において活用されたリスクマトリックス[38].



災害の影響度区分

区分	影響距離
Ⅰ	200m 以上
Ⅱ	100m 以上 200m 未満
Ⅲ	50m 以上 100m 未満
Ⅳ	20m 以上 50m 未満
Ⅴ	20m 未満

災害発生頻度・確率区分

区分	平常時の災害発生頻度	都心南部直下地震の災害発生確率	大正型関東地震の災害発生確率
AA	10^{-3}/年程度	10^{-1}程度	―
A	10^{-4}/年程度	10^{-2}程度	10^{-1}程度
B	10^{-5}/年程度	10^{-3}程度	10^{-2}程度
C	10^{-6}/年程度	10^{-4}程度	10^{-3}程度
D	10^{-7}/年程度	10^{-5}程度	10^{-4}程度
E	10^{-8}/年程度	10^{-6}程度	10^{-5}程度

表 2.4-2　防災対策の考え方[38].

想定災害	被害の概況	防災対策の考え方
平常時の事故	小量流出等に比べて発生確率は低いが、爆発火災や毒性ガスの拡散等が発生した場合、影響範囲が広範囲に及ぶおそれがある。	爆発火災の発生確率と災害影響度を下げるための対策を充実強化する。
地震（強震動）による被害	都心南部直下地震、大正型関東地震のいずれかの地震が発生した場合に最大の影響が生じるおそれがある。 小量流出等に比べて発生確率は低いが、爆発火災や毒性ガスの拡散等が発生した場合、影響範囲が広範囲に及ぶおそれがある。	爆発火災の発生確率と災害影響度を下げるための対策を充実強化する。
地震（長周期地震動）による被害	南海トラフ巨大地震が発生した場合に最大の影響が生じるおそれがある。 浮き屋根式タンクでスロッシングによる溢流のおそれがある。	浮き屋根式タンク等のスロッシングの発生抑制に係る対策を充実強化する。
津波による被害	南海トラフ巨大地震、大正型関東地震の津波が発生した場合に施設の浸水深が最大となる。 危険物タンクでは、津波浸水による浮き上がりの可能性はない。 電気設備等の冠水による被害が想定される。	浸水被害、流出物対策を充実強化する。
大規模災害による被害	高圧ガスタンクの内容物が一度に全量爆発火災を起こしたと仮定した場合等に影響範囲が広範囲に及ぶおそれがある。	避難計画の見直し等のソフト対策を充実強化する。

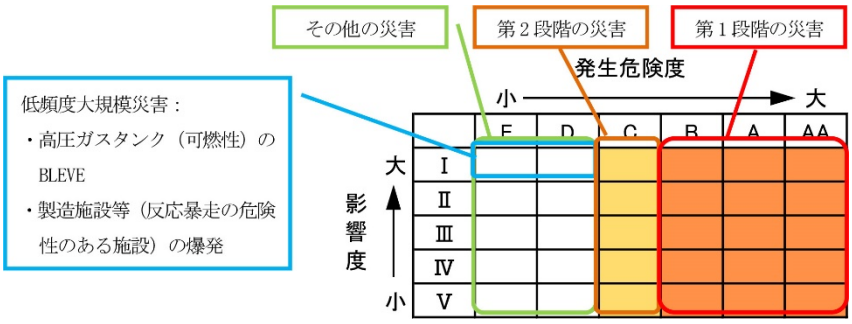


図 2.4-1　避難計画策定における想定災害の区分 [38].

2.4.4 応急対策に位置付けられる避難計画の具体化

避難計画の前提となる災害の区分については、2.4.3 で示した、第 1 段階の災害、第 2 段階の災害、低頻度大規模災害に加え、発生頻度並びに発生確率が低い災害として「その他の災害」を設けることで、**図 2.4-1** に示すように計 4 区分とし、避難計画に係る対応の優先度を判断することとしている。その上で、住民等が避難を要する事態を、(1) 危険物火災や可燃性ガス火災による「火災延焼拡大」、(2) 危険物の「大量漏洩」による可燃性ガスの蒸発・拡散、危険物（毒性）や毒性液体の「大量漏洩」による毒性ガスの蒸発・拡散、及び、それらの漏洩継続、(3) 高圧ガスタンクの BLEVE や製造プラントの反応暴走による「大規模災害」、の 3 タイプの事態に区分し、これらの事態に対応した避難対象地域及び避難方法を**表 2.4-3** に示すように定めている。避難方法における域外避難は、**表 2.4-4** に示す通り、一時避難、広域避難、特別避難の 3 つの方法が示されている。

表 2.4-3　避難対象地域及び避難方法 [38].

避難を要する事態		避難対象地域	避難方法
①火災延焼拡大	危険物火災	流出火災の影響範囲内の地域	域外避難
	可燃性ガス火災	爆発/フラッシュ火災の影響範囲内の地域	域外避難
②大量漏洩	危険物の大量漏洩	流出火災の影響範囲内の地域	域外避難
	危険物(毒性)、毒性液体の大量漏洩	毒性ガス拡散の影響範囲内の地域	域外避難
	可燃性ガス、毒性ガスの漏洩継続	フラッシュ火災/毒性ガス拡散の影響範囲内の地域	域外避難
③大規模災害	BLEVE (高圧ガスタンク)	以下の災害の影響範囲内の地域 ①蒸気雲爆発による爆風圧 ②ファイヤーボールによる放射熱 ③飛散物の飛散範囲	発災施設周辺: 域外避難 その他の避難対象地域: 屋内退避
	反応暴走 (製造プラント)	蒸気雲爆発による爆風圧(2.1kPa)の影響範囲内の地域	発災施設周辺: 域外避難 その他の避難対象地域: 屋内退避

表 2.4-4　避難方法 [38].

域外避難	一時避難	特定事業所における大規模屋外タンク等の火災・爆発又は有毒ガスの漏洩により付近住民に危険が及ぶと認める場合は、公園・大規模な空地等安全な場所に避難させる。
	広域避難	震災等により、広域的な災害が発生し周辺地域住民に危険が及ぶと認める場合には、安全である直近の市立小・中・高等学校又は広域避難場所等に避難させる。
	特別避難	島部と連絡する橋りょう等が災害により使用できず、内陸部と島部間の連絡が途絶した場合は、避難用船舶による避難を行う。 ・ 集合場所 在島者の状況を、ヘリコプター等により情報収集するとともに、船舶の係留位置及び港湾施設の被害状況等を考慮して集合位置を指定し、在島者には、神奈川県石油コンビナート等防災無線、川崎市防災行政無線、メール、ヘリコプター、広報車等を活用し、伝達を徹底する。 ・ 避難用船舶 市長は、災害状況及び態様等に応じ、関係機関と協議の上、横浜海上保安部（川崎海上保安署）へ救助を要請するとともに、本市及びその他の関係機関保有船舶等により避難を実施する。 なお、避難用船舶の確保等について、事前に関係機関と協議しておくものとする。 ・ 避難先 避難先は、災害状況、気象状況等を勘案し、被害のない内陸部又は東京湾内の他の港とする。
屋内避難		屋内にとどまる方が、避難所等への避難よりも危険性が少ないと考えられる場合は、屋内に避難する。

表 2.4-5　平常時並びに地震時の災害における避難計画の事例 [38].

エリア番号	施設諸元	避難を要する事態	影響の評価指標（基準値）	最大影響距離[m]	避難対象地区（域外避難）		想定災害の区分				避難対象地域の区分（末尾の【注】参照）
							平常時	地震時			
					地区名	最大避難者数		都心南部直下地震	大正型関東地震	【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震	
1	危険物タンク 貯蔵：ベンゼン	・火災延焼拡大（危険物） ・大量漏洩（危険物）	放射熱 （2.3 kJ/m^{2}s）	160	千鳥町 夜光2丁目	昼間：3686人 夜間：5人	第1段階	第1段階	第1段階	第2段階	②
1	危険物タンク 貯蔵：ゴム用揮発油	・火災延焼拡大（危険物） ・大量漏洩（危険物）	放射熱 （2.3 kJ/m^{2}s）	160	千鳥町 夜光2丁目	昼間：3686人 夜間：5人	第1段階	第1段階	第1段階	第1段階	②
1	危険物タンク 貯蔵：ノルマルヘキサン	・火災延焼拡大（危険物） ・大量漏洩（危険物）	放射熱 （2.3 kJ/m^{2}s）	190	千鳥町 夜光2丁目	昼間：3686人 夜間：5人	第1段階	第1段階	第1段階	第2段階	②
1	危険物タンク 貯蔵：ノルマルヘキサン	・火災延焼拡大（危険物） ・大量漏洩（危険物）	放射熱 （2.3 kJ/m^{2}s）	190	千鳥町 夜光2丁目	昼間：3686人 夜間：5人	第1段階	第1段階	第1段階	第1段階	②
1	危険物タンク（毒性） 貯蔵：アクリロニトリル	・大量漏洩（毒性危険物）	拡散ガス濃度 （IDLH:85ppm）	1230	浮島町 江川2丁目 小島町 塩浜1丁目 塩浜2丁目 塩浜3丁目 塩浜4丁目 田町2丁目 田町3丁目 千鳥町 日ノ出1丁目 日ノ出2丁目 夜光1丁目 夜光2丁目 夜光3丁目 四谷下町	昼間：26908人 夜間：10618人	第1段階	第1段階	第1段階	第1段階	①,②
1	危険物タンク（毒性） 貯蔵：アクリロニトリル	・大量漏洩（毒性危険物）	拡散ガス濃度 （IDLH:85ppm）	900	浮島町 小島町 塩浜3丁目 塩浜4丁目 田町2丁目 田町3丁目 千鳥町 夜光1丁目 夜光2丁目	昼間：18840人 夜間：3493人	第1段階	第1段階	第1段階	第1段階	①,②
1	高圧ガスタンク 貯蔵：プロピレン	・火災延焼拡大（可燃性ガス） ・大量漏洩（可燃性ガス）	爆風圧（2.1kPa）	183	千鳥町 夜光1丁目	昼間：4466人 夜間：105人	その他	その他	その他	その他	②
1	プラント（製造施設） 取扱：ベンゼン	・火災延焼拡大（可燃性ガス） ・大量漏洩（可燃性ガス）	爆風圧（2.1kPa）	258	塩浜3丁目 千鳥町 夜光2丁目 夜光3丁目	昼間：5714人 夜間：465人	第1段階	第1段階	第2段階	第2段階	②
1	プラント（製造施設） 取扱：ノルマルパラフィン	・火災延焼拡大（可燃性ガス） ・大量漏洩（可燃性ガス）	爆風圧（2.1kPa）	335	塩浜3丁目 千鳥町 夜光2丁目 夜光3丁目	昼間：5714人 夜間：465人	第1段階	第1段階	第2段階	第2段階	②

表 2.4-6　大規模災害における避難計画の事例[38].

エリア番号	施設諸元	避難を要する事態	影響の評価指標（基準値）	最大影響距離[m]	避難対象地区（域外避難）		避難対象地区（屋内避難）		影響範囲内の避難先（末尾の【注】参照）	避難対象地域の区分（末尾の【注】参照）	留意事項（末尾に記載）
					地区名	最大避難者数	地区名	最大避難者数			
1	高圧ガスタンク 貯蔵：プタジエン	大規模災害（BLEVE）	放射熱（11.6kJ/m^{2}s）、 爆風圧（2.1kPa、 16kPa）、飛散物	域外避難 ：357 屋内退避 ：1883	小島町 千鳥町 夜光1丁目	昼間：6745人 夜間：112人	下記（※）の通り	昼間：41706人 夜間：32243人	殿町小学校 大師中学校 南大師中学校 四谷小学校	①,②	1）2）
	（※）池上新町3丁目,浮島町,江川1丁目,江川2丁目,塩浜1丁目,塩浜2丁目,塩浜3丁目,塩浜4丁目,昭和1丁目,昭和2丁目,田町1丁目,田町2丁目,大師河原1丁目,大師河原2丁目,台町,出来野,殿町1丁目,殿町2丁目,殿町3丁目,東門前2丁目,東門前3丁目,日ノ出1丁目,日ノ出2丁目,水江町,夜光2丁目,夜光3丁目,四谷上町,四谷下町										
1	プラント（製造施設） 取扱：プタジエン	大規模災害（反応暴走）	爆風圧（2.1kPa、 16kPa）	域外避難 ：165 屋内退避 ：747	塩浜4丁目 夜光1丁目	昼間：2691人 夜間：154人	小島町 塩浜1丁目 塩浜3丁目 田町2丁目 田町3丁目 千鳥町 日ノ出1丁目 日ノ出2丁目 夜光2丁目	昼間：13816人 夜間：6662人	ー	①,②	3）
2	高圧ガスタンク 貯蔵：LPG	大規模災害（BLEVE）	放射熱（11.6kJ/m^{2}s）、 爆風圧（2.1kPa、 16kPa）、飛散物	域外避難 ：1292 屋内退避 ：6710	浮島町 小島町	昼間：9230人 夜間：955人	下記（※1）の通り	昼間：204002人 夜間：167497人	下記（※2）の通り	①,②	1）2）
	（※1）旭町1丁目,旭町2丁目,砂子1丁目,砂子2丁目,駅前本町,榎町,大島上町,大島1丁目,大島2丁目,大島3丁目,大島4丁目,大島5丁目,貝塚1丁目,貝塚2丁目,境町,新川通,鈴木町,中島1丁目,中島2丁目,中島3丁目,東田町,富士見1丁目,富士見2丁目,堀之内町,本町1丁目,本町2丁目,港町,南町,宮前町,宮本町,渡田東町,渡田向町,渡田1丁目,渡田2丁目,渡田3丁目,渡田4丁目,池上新町1丁目,池上新町2丁目,池上新町3丁目,伊勢町,江川1丁目,江川2丁目,川中島1丁目,川中島2丁目,観音1丁目,観音2丁目,塩浜1丁目,塩浜2丁目,塩浜3丁目,塩浜4丁目,昭和1丁目,昭和2丁目,田町1丁目,田町2丁目,田町3丁目,大師駅前1丁目,大師駅前2丁目,大師河原1丁目,大師河原2丁目,大師公園,大師町,大師本町,台町,千鳥町,出来野,殿町1丁目,殿町2丁目,中瀬1丁目,中瀬2丁目,中瀬3丁目,東扇島,東門前1丁目,東門前2丁目,東門前3丁目,日ノ出1丁目,日ノ出2丁目,藤崎1丁目,藤崎2丁目,藤崎3丁目,藤崎4丁目,水江町,夜光1丁目,夜光2丁目,夜光3丁目,四谷上町,四谷下町,浅野町,池上町,追分町,大川町,扇島,扇町,小田栄1丁目,小田栄2丁目,小田3丁目,小田5丁目,小田6丁目,小田7丁目,鋼管通1丁目,鋼管通2丁目,鋼管通3丁目,鋼管通4丁目,鋼管通5丁目,桜本1丁目,桜本2丁目,白石町,田島町,田辺新田,浜町1丁目,浜町2丁目,浜町3丁目,浜町4丁目,南渡田町 （※2）**川崎競馬場**,**川崎競輪場**,**川崎球場**,**富士見公園**,**大師公園**,宮前小学校,市立川崎高校・附属中学校,旭町小学校,富士見中学校,田島小学校,向小学校,東大島小学校,南部防災センター,東小田小学校,渡田小学校,大島小学校,臨港中学校,さくら小学校,田島支援学校桜校,桜本中学校,藤崎小学校,川中島小学校,川中島中学校,四谷小学校,大師小学校,南大師中学校,東門前小学校,殿町小学校,大師中学校										
3	高圧ガスタンク 貯蔵：プロピレン	大規模災害（BLEVE）	放射熱（11.6kJ/m^{2}s）、 爆風圧（2.1kPa、 16kPa）、飛散物	域外避難 ：512 屋内退避 ：3708	千鳥町	昼間：2657人 夜間：0人	下記（※1）の通り	昼間：127950人 夜間：111916人	下記（※2）の通り	①,②	1）2）
	（※1）旭町2丁目,大島2丁目,大島3丁目,大島4丁目,大島5丁目,鈴木町,中島1丁目,中島2丁目,中島3丁目,港町,池上新町1丁目,池上新町2丁目,池上新町3丁目,伊勢町,浮島町,江川1丁目,江川2丁目,川中島1丁目,川中島2丁目,観音1丁目,観音2丁目,小島町,塩浜1丁目,塩浜2丁目,塩浜3丁目,塩浜4丁目,昭和1丁目,昭和2丁目,田町1丁目,田町2丁目,田町3丁目,大師駅前1丁目,大師駅前2丁目,大師河原1丁目,大師河原2丁目,大師公園,大師町,大師本町,台町,出来野,殿町1丁目,殿町2丁目,殿町3丁目,中瀬1丁目,中瀬2丁目,中瀬3丁目,東扇島,東門前1丁目,東門前2丁目,東門前3丁目,日ノ出1丁目,日ノ出2丁目,藤崎1丁目,藤崎2丁目,藤崎3丁目,藤崎4丁目,水江町,夜光1丁目,夜光2丁目,夜光3丁目,四谷上町,四谷下町,浅野町,池上町,追分町,扇島,扇町,鋼管通1丁目,鋼管通2丁目,鋼管通3丁目,鋼管通4丁目,鋼管通5丁目,桜本1丁目,桜本2丁目,浜町1丁目,浜町2丁目,浜町3丁目,浜町4丁目,南渡田町 （※2）**大師公園**,向小学校,東大島小学校,大島小学校,臨港中学校,さくら小学校,田島支援学校桜校,桜本中学校,藤崎小学校,川中島小学校,川中島中学校,四谷小学校,大師小学校,南大師中学校,東門前小学校,殿町小学校,大師中学校										

以上より、災害の影響範囲に対する考え方として、① 川崎市臨海部における石油コンビナート区域外の一般地域まで及ぶ災害と、② 石油コンビナート地域を 8 つのエリアに区分し各エリアで発生する災害の影響範囲が隣接エリアに及ぶ災害、の 2 タイプを念頭に置き、対象施設ごとに避難を要する事態を想定した上で、最大影響距離[m]を算定し、**図 2.4-1** に示した想定災害の区分と紐付けして、避難対象地区ならびに最大避難者数等を整理することで避難計画を策定している。**表 2.4-5** には平常時並びに地震時の災害、**表 2.4-6** には大規模災害を想定した場合の避難計画をそれぞれ示す。

2.5 産業施設強靭化に向けた国・自治体の施策

首都直下地震、東海・東南海・南海地震等に対し、石油コンビナート等産業施設の一層の強靭化を推進するため、電力・ガス、鉄鋼、石油化学など我が国の根幹をなす他産業(石油産業以外)に対する国、自治体等からの支援の現況について調査した。

2.5.1 国による支援・補助

(1) 国土強靭化基本計画

この基本計画は国・自治体の支援策の根幹をなし平成２６年６月３日に閣議決定された。またその実施計画である「国土強靭化アクションプラン」は以後毎年見直されローリングプランとして機能している。同計画では「各プログラムの推進方針」の中で懸念される事象に対して、以下のように産業・企業活動に関して触れている。

「5-1）サプライチェーンの寸断等による企業の生産力低下による国際競争力の低下」の懸念に対して、企業毎の BCP 策定に加え、企業連携型 BCP の策定への取組が必要とし、関係府省庁及び民間も含めて幅広い連携を求めている。更に関係府省庁及びその地方支分局、地方公共団体、経済団体等が連携して地方強靭化 BCP（仮称）を作成することも求めている。

「5-2）社会経済活動、サプライチェーンの維持に必要なエネルギー供給の停止」の懸念に対しては次の施策を計画している。

○ 石油精製･元売り各社における BCP について、訓練の実施等を通じて実効性を高めるとともに、体制の充実強化や計画、BCP の見直しを図る。

○ また LP ガスに関しては工場・事業所等において自家発電設備の導入や燃料の備蓄量の確保等を促進する。

「5-3）コンビナート・重要な産業施設の損壊、火災、爆発等」の懸念に対しては、まずコンビナート等防災計画において特定事業所の自衛消防組織の活動の充実強化を求めている。またコンビナートの災害に備え、エネルギー・産業基盤災害即応部隊（ドラゴンハイパー・コマンドユニット）の体制強化を図るとともに、企業連携型 BCP/BCM 構築の促進・持続的な推進など民間事業者における取組の強化を求めている。

「6-1）電力供給ネットワーク(発変電所、送配電設備)や石油・LP ガスサプライチェーンの機能の停止」に対しては、それぞれの業種ごと以下の施策を掲げている。

○ 電気設備の自然災害に対する耐性評価等に基づき必要に応じ発変電所・送電線網や電力システムの災害対応力強化及び復旧迅速化を図る。

○ 製油所の非常時出荷能力確保のため、製油所の非常用設備（発電機、情報通信システム、ドラム缶石油充填出荷設備）の導入促進を図る。

○ 石油タンクの耐震改修を促進する。また、製油所の耐性評価を踏まえた設備の耐震化等や護岸の強化等の地震・津波対策及び関係する研究・技術開発を着実に推進する。さらに、コンビナート港湾における関係者が連携した BCP を策定する。

○ 石油及び石油ガスの国家備蓄基地の耐震工事を着実に完了させる。また、石油製品、石油ガスの国家備蓄量の確保に向けた取組を推進する。

同計画の「各プログラムの推進方針」の詳細は、「国土強靭化基本計画」の別紙 3 に示されている。いずれも石油、石油ガスの関連業種は国の支援も含め強じん化するとしているが、鉄鋼、石油化学、流通・物流などを対象とした施策は見当たらない。

(2) 経済産業省の施策・予算

同省が政策一覧に掲げる主要施策のうち、国土強じん化に関わる「安全安心」分野では企業及び産業界に事業継続能力（BCP／BCM）の強化を求めている。また「エネルギー・環境」分野では国土強靭化基本計画、エネルギー基本計画に謳っている施策をほぼ繰り返している。一方産業分野ごとの施策の内「鉄鋼」業種ではサプライチェーンの強じん化をうたっているが、取引の適正化を云っていて、災害対応には触れていない。また「化学」分野では生産工程における事故など安全衛生に関する施策をもっているが、サプライチェーンの強じん化などの記載はなくその安全確保には触れていない。

平成 30 年度概算要求に「３．国民生活や産業を支える産業基盤の構築」を掲げ、「（１）危機対応に向けた官民体制の強化」の中で、地震、液状化などによる被害に備え、安全停止対策や耐震・液状化対策などの製油所の強じん化に向けた投資や、住民拠点ＳＳを整備するための自家発電機の導入や地下タンクの大型化への補助を実施するとしている。また都道府県・市町村と流通・物流業との協力体制を構築し、石油や電力、自衛隊の実働訓練と連携して流通・物流も含めたモデル訓練を実施するといっている。

資源エネルギー庁の予算措置は石油コンビナートの強じん化などは○-○-○項で記載したとおりである。他には高圧エネルギーガス設備に対する耐震補強を支援する他、地域の石油製品の供給拠点となる住民拠点 SS を 2019 年度（平成 31 年度）頃までに 8,000 カ所整備するとしている。高圧エネルギーガス設備を取り上げている根拠は石油タンク同様に国土強靭化基本計画である。プログラム「5-3）コンビナート・重要な産業施設の損壊、火災、爆発等」に「○ 石油タンクの耐震改修を促進する。また、東日本大震災を踏まえて耐震基準を見直した高圧ガス設備や重要な既存の高圧ガス設備の耐震強化に向けた対策を

促進するとともに、南海トラフ地震や首都直下地震等に対する耐震基準見直しの検討を進める。」とある。

平成 27 年度から 29 年度まで経済産業省、資源エネルギー庁の事業予算をみても、同様の強じん化対策が並ぶ。

○避難所や病院といった社会的重要インフラなどの災害時に自家発電機器

○球形貯槽等の高圧ガス設備の耐震性を強化

○古い都市ガス管（経年管）のリスク状況を把握

○過疎地等における石油製品の流通体制整備　など

しかし、国土交通省や内閣府の施策(後述)にあるような、強じん化関連の税制改正は平成 26 年度～平成 30 年度においては触れていない。

(3) 国土交通省の施策・予算

第４次社会資本整備重点計画では「重点目標２　災害特性や地域の脆弱性に応じて災害等のリスクを低減する」としており、「2-3 災害発生時のリスクの低減のための危機管理対策の強化、①社会資本の目的・役割に応じた選択と集中の徹底、ｉ）安全安心インフラによる災害等のリスクの低減」で、コンビナート等が所在する港湾での事業継続の確保、災害時の業務継続に必要なエネルギーの自立化・多重化など、地区一体で民間の防災・減災活動と連携した取組を強化するとしている。

この地区一体で民間の防災・減災活動と連携した取組は、平成 30 年度の施策では「地域における総合的な防災・減災対策、老朽化対策等に対する集中的支援」と題されている。例示として道路の地震対策、風水害・防雪対策、内水氾濫が発生した地域における下水道整備、津波・高潮等の被害から海岸を防護するための堤防等の整備、河川堤防の緊急点検結果に基づく緊急対策、港湾の地震・津波、風水害対策などを防災・安全交付金を活用して、(部局の壁を越えて)総合的に支援するということを指すものと見られる。

平成 30 年度概算要求では「災害時における人流・物流の確保」を掲げ、避難所等までの末端輸送（ラストマイル）を含む円滑な支援物資輸送体制の構築を目指している。この中で地方自治体と地方倉庫協会等が、各地域における支援物資輸送体制の確立に向けた取組を期待されている。

また平成 26 年度から 29 年度までの期間で以下の予算措置、税制措置を打出している。

○臨海部の企業活動等を考慮した高潮対策等の推進

○多様な機関との連携等による港湾 BCP の改善・拡張

○支援物資輸送に関し物流事業者団体と自治体との保管協定の締結を促進

○避難機能を備えた物流施設等を整備する民間事業者に支援

○臨海部において災害時の企業活動等の維持を目的に官民の防災情報の積極的共有

○港湾に立地する老朽化・陳腐化した物流施設の再編・高度化

○緊急物資等の輸送確保に向けた港湾における民有護岸等の耐震改修促進

○民間事業者が国の無利子貸付制度を活用し航路沿い護岸(特別特定技術基準対象施設)耐震改修

○民間事業者が特定技術基準対象施設を耐震改修した場合の特例措置

これら予算措置の内、具体的内容、実施例など分かるものについて以下に記載する。

港湾 BCP はそのガイドラインが平成 27 年 3 月に策定され公表された。このガイドラインには BCP を策定する際、リスクの評価・分析を行い、「当該港湾の機能の中断・低下を引き起こす可能性がある危機的事象を洗い出す。この洗い出しについては、極力発生し得る全てのものを考慮する。」とあり航路閉塞なども想定されるものとみられる。

官民の防災情報の積極的共有は「臨海部堤外地における防災のあり方に関する検討会の報告」を受け施策として進められている。報告書には臨海部堤外地における防災の進むべき方向性として、①民間企業における防災対策促進等を目的とした官民での防災情報の積極的共有を第一に掲げ、平成 29 年度にこのための予算を付けている。

港湾に立地する老朽化・陳腐化した物流施設の再編・高度化は平成 29 年度予算に示され、港湾における防災機能の向上及び効率的な物流網の形成を図ることを目的としている。概算要求書には四日市港での物流施設の再編・高度化の事例が例示されており、集約・大規模化により、物流の効率化が図られ、防災機能も向上すると説明している。

民有護岸等の租税特別措置等による耐震改修促進については次節で記述する。

国の無利子貸付制度を活用し航路沿い護岸(特別特定技術基準対象施設)を耐震改修する制度は平成 26 年 4 月に港湾法が改正し創設された。無利子貸付の対象は、国際戦略港湾、国際拠点港湾及び重要港湾内の大規模地震対策施設（耐震強化岸壁や石油製品の入出荷施設）に至る航路沿いの護岸、岸壁及び物揚場で、旧基準で建設された施設を現行基準に適合するよう改良する場合に支援対象となる。国の無利子貸付制度を活用し、特別特定技術基準対象施設(非常災害により損壊した場合、船舶の交通に支障を及ぼすおそれがある施設)を耐震改修する民間事業者に対し、併せて法人税、地方税の特例措置がある。この適用実績に関する情報は今回の調査ではいまところ見出せない。

(4) 内閣府の施策・予算

平成 30 年度の重点施策に「Ⅳ 民間事業者を含めた社会全体としての自助・共助による

防災への取組」を挙げている通り、ソフトな対策への支援が主である。民間主体による枠組みを通じた事業者の災害リスクマネジメント向上への支援、事業者の災害リスクマネジメント推進に資する情報の収集・整理・提供などを進めている。

一方、法人税、固定資産税などを軽減する税制優遇措置を関係府省と共管して数多く持っており、平成 26 年度から 29 年度までの期間で、以下の措置を次々と打ち出している。いずれも直接補助ではないが、多くの業種を対象としており有効な政策手段となることを期待されている。

〇耐震改修を行った民有の護岸・岸壁・桟橋について取得価額の 20%の特別償却
〇地震防災対策のため一定資産を取得した場合その管理･運営する法人に課税標準額減額
〇民間企業が臨港地区内で取得改良を行った津波対策に資する港湾施設課税標準特例措置
〇緊急物資等の輸送確保に向けた港湾における民有護岸等の耐震改修促進、課税標準特例
〇災害時の物流機能維持に資する物流効率化施設にかかる特例措置

このうち平成 30 年度税制改正要望の民有の護岸・岸壁・桟橋について取得価額の 20%の特別償却[拡充・延長]は、同 29 年 8 月に租税特別措置等に係る政策評価がなされている。それによると平成 26 年度から平成 29 年度までの実績は港湾管理者への調査による 0 件となっている。これは、「耐震改修が事業活動に大きな影響を及ぼし、多額の資金が必要となり、かつ、事前の耐震性調査に係る既存手法が煩雑であった一方で、護岸等は収益に直接結びつかない施設であることから、厳しい経営環境の下、耐震改修が進まなかったことが要因」と評価されている。そこで「特に、耐震改修の必要性が高い、南海トラフ地震防災対策推進地域及び首都直下地震緊急対策区域にあり、緊急確保航路に接続する港湾について、耐震強化岸壁及び石油桟橋に至る航路沿いの護岸等の耐震性が確保されることにより、非常災害時の緊急物資輸送や燃油供給等に必要な航路機能の確保につながる」場合を「緊急確保航路」と定めインセンティブを拡大し 40%の特別償却が必要と評価したと記載されている。しかし、結果は 22%の特別償却と、固定資産税の課税標準が 1/2 となった。

また、平成 28 年度に地方税制改正で措置された津波対策に資する港湾施設等に係る課税標準の特例措置の延長についても、その要望書に平成 23 年度～平成 26 年度の適用実績 0 件と記載されている。なお、平成 29 年度の地震防災対策の用に供する償却資産に係る固定資産税の課税標準の特例措置の適用期限の延長は、その対象を作業用船舶に限定して措置されることになった。

以上のように鉄鋼・化学、流通・物流が関連するものとしては、民有護岸の耐震改修がその対象として挙がる可能性がある。直接補助より税制優遇措置が多いようだが、これ

が企業側にどれだけの魅力と映るのかは今後の調査課題となる。その他 BCP などの活動を支援するソフト的な施策がいくつかあるのにとどまっている。

2.5.2 自治体による支援・補助

(1) 神奈川県の支援・補助

かながわグランドデザイン第 2 期 実施計画(2015～2018)の中で「Ⅱ.安全・安心、1 大規模な災害への 対応力の強化、1.1 災害に強いまちづく」を掲げ、石油コンビナートなどの防災対策の推進に重点を置いている。

平成 29 年度安全防災局主要事業の中では、石油コンビナートを対象として、以下の施策に予算付けを行っている。平成 28 年度以前もほぼ同様の予算付けである。

○危険物タンクのスロッシングによる被害予測システムを運営

○高圧ガスタンクの検査方法の技術指針等を作成

○石油貯蔵施設周辺地域の住民の安全確保のための防災施設整備

○高圧ガス関係事業所の保安状況の(情報)提供、保安啓発事業、及び高圧ガス地震防災緊急措置訓練

神奈川県では、地震発生時に的確・迅速な初動態勢を確立し、二次災害を防止するため、石油コンビナート等特別防災区域内の５地区（川崎市川崎区４、横浜市磯子区１）に地震観測機器を配置し、地震発生直後に危険物タンクのスロッシングによる被害予測を行い、その情報を石油コンビナート等防災本部（県、関係市消防局等の防災関係機関、コンビナート事業所等）が迅速に把握できるシステムを運用している。本システムは、地震計と解析記録装置等で構成され、地震計が地震情報（震度、加速度等）を観測すると、その地震動が地盤上のタンクに伝わり、タンク内の液体をどの程度揺らすのかを速やかに解析して、それぞれのタンクの液面の揺れの大きさを予測し、溢流の可能性等の危険性の判定をする。判定結果等の情報は、インターネットを介して石油コンビナート等防災本部（県）に設置している表示パソコン上で地図情報と関連して表示される。また、同時に防災関係機関あてにもメール情報として配信することで被害予測結果の共有化を図っている。

「神奈川県石油コンビナート等防災計画及び資料編詳細」において工業保安課は高圧ガス施設に係る行政指導基準を平成 20 年時点で 12 件列記している。4. 石油化学コンビナート保安基準、7. 平底円筒形可燃性ガス低温貯槽設置基準、8. 高圧ガス施設等耐震設計基準などブレース等の点検要領の記載がある。平成 29 年度はこれらを踏まえた高圧ガスタンクの検査方法の技術指針になる模様。

石油貯蔵施設立地対策等交付金は石油貯蔵施設（製油所・油槽所・備蓄基地）が立地す

る周辺地域における住民福祉の向上を通じて、石油貯蔵施設の設置の円滑化を図るため、石油貯蔵施設の立地市町村・隣接市町村に係る社会インフラ（消防・道路・医療等）の整備を支援するもの。交付対象施設の例として消防、道路、港湾、水道、通信、医療等関連施設があり、公共用の施設で、石油貯蔵施設の設置に伴い整備することが必要と認められるものを対象に交付している。

以上のとおり石油コンビナートを対象としているが、鉄鋼・化学、流通・物流などの産業用施設を取り上げた施策はない。

(2) 横浜市の支援・補助

横浜市地域防災計画では「第８章 災害に強い地域づくり、第７節　事業者の防災体制の確立」においてまず「１　事業者のとるべき措置」を掲げている。また「第９節　危険物施設等の対策」においても有害化学物質等の飛散、流出を防止し、有害化学物質等漏出災害予防対策を進めている。

石油コンビナート等災害防止法（以下「石災法」という。）に基づき、未然防止と被害の拡大防止を図るため、災害予防対策、応急対策及び復旧対策の実施に必要な事項を定めている。これらは主として横浜市の実施する防災対策の細部運用が対象となっている。
石災法は石油コンビナート等防災本部が防災対策に関する石油コンビナート等防災計画を作成するよう定めている。本部長は都道府県知事。横浜市は「神奈川県石油コンビナート等防災計画」を受けて、横浜市域に係る災害の未然防止と被害の拡大防止を図るため、災害予防対策、応急対策及び復旧対策の実施に必要な事項を定めている。

横浜市中期４か年計画(2014～2017)では「施策 10　災害に強いまちづくり（地震・水害等）」を掲げ、様々な災害に対する危機対応力の強化を謳っている。しかし、平成 29 年度予算には政策局、総務局、都市整備局、港湾局とも特に産業施設の防災に関する記載は見られない。

政策局は国土強靭化地域計画策定に向けた基礎調査費を 800 万円計上している。これは国土強靭化基本法に基づく地域計画の策定に向け、大規模な自然災害等による被害を回避するため、住宅・都市、保健医療・福祉等の分野で都市の脆弱性の分析・評価を行うなどの基礎的事項を検討するもの。

総務局は自助・共助を中心とした防災への取組みに約 15 億円の予算を割いている。自助・共助の推進では地域の防災担い手育成事業、洪水ハザードマップ改訂事業、感震ブレーカー等設置推進事業、また地域防災拠点の機能強化では災害対策備蓄事業、地域防災拠点機能強化事業、飲料水確保対策事業、さらに市民の安全・安心を支える危機対応力の強

化では危機対処・防災訓練事業、防災行政用無線運用事業、緊急時情報システム運用試行事業等がある。

都市整備局はまちの不燃化推進事業に 13 億円余の予算を投じる。建築物不燃化推進事業補助、木造建築物不燃化・耐震改修事業補助、木造建築物安全相談事業、身近なまちの防災施設整備事業補助、狭あい道路の拡幅整備、広場・公園整備、防火水槽整備、地域住民による防災まちづくり協議会等への支援等がある。

港湾局は安全・安心で環境にやさしい港を目指し、港の防災機能強化とスマート化の推進を掲げている。このうち防災関連では安全で安心な港づくりの中で耐震強化岸壁の整備、海岸保全施設の整備を、また港湾施設等の維持保全の中で港湾施設等の維持保全、大黒ふ頭の整備、本牧ふ頭の岸壁改良など予算化している。特に海岸保全施設の整備は百数十年に一回程度の頻度で発生する津波(L1)と高潮からの浸水被害を防ぐため、平成 28 年３月に、神奈川県の海岸保全基本計画に本市域の海岸保全施設の整備計画を位置付けたもので、大黒ふ頭を初めとして順次必要な箇所に護岸の嵩上げ等の海岸保全施設の整備を進めていこうとしている。平成 29 年度は施設整備に向けた測量、設計調査等で 1900 万円を計上している。

横浜市の海岸線にはこれまで海岸保全区域の指定が無かったが、28 年の上記計画では埋立地全域を含む区域を海岸保全区域に指定しようとした。

(2) 川崎市の支援・補助

平成 29 年度予算に「戦略 1 国土強じん化、地震防災戦略の推進」を掲げ、臨海部・津波防災対策の推進を進めている。総合企画局・港湾局が災害・危機事象に備える対策の推進をうたっているが、特に他の産業施設に係るものはない。

臨海部・津波防災対策の推進の具体に関連して、港湾局は災害・危機事象に備える対策として港湾の防災・減災対策の推進に 6 億円余の予算を計上している。内容としては、津波・高潮発生時の内陸部への浸水対策及び操作員の安全性を確保するため海岸保全施設の改良を実施、災害発生時に緊急物資等の輸送機能を確保するため千鳥町 7 号岸壁の耐震改修を実施、緊急物資等の輸送を円滑かつ確実に行うため緊急輸送道路の液状化対策（段差発生の抑制）を実施の 3 点を掲げている。

川崎市の臨海部防災対策については詳細事例として 2.4 に詳述している。

以上のとおり、自治体は基本的には、事業所等が各種法令を遵守するとともに、自己の責任において防災体制を整備することを期待している。

参考文献

1) 座間信作：巨大地震と石油タンクのスロッシング，Safety & Tomorrow，No.154，pp.25-33，2014.

2) 総務省消防庁：危険物施設の震災等対策ガイドライン，参考資料 4 過去の震災における危険物施設の被害，2014.
http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/kikenbutsu/pdf/sanko4.pdf

3) 消防庁消防研究センター：平成 23 年東北地方太平洋沖地震の被害及び消防活動に関する調査報告書(第 1 報) ，消防研究技術資料第 82 号，2011.

4) 高圧ガス保安協会：石油精製業保安対策に関する報告書，1995.

5) 張至鎬：液状化地盤の流動が杭基礎に及ぼす外力の評価法に関する基礎的研究，早稲田大学学位請求論文，2005.

6) 高圧ガス保安協会：兵庫県南部地震に伴う LP ガス貯蔵設備ガス漏洩調査中間報告書，1995.

7) 西晴樹：東北地方太平洋沖地震での危険物施設の地震等被害，安全工学，Vol.50，No.6，pp.417-426，2011.

8) 消防研究センター：東日本大震災におけるコンビナート被害、火災被害等の現地調査結果，消防の動き，pp.12-14，2011.

7) 経済産業省 総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会高圧ガス部会：東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策について，2012.
http://www.meti.go.jp/committee/summary/0001815/020_haifu.html

8) http://sharetube.jp/assets/img/article/2016/facebook_ogp_half/1645.jpg

9) 佐野尊，上田洋平，赤塚広隆，小林英男：LPG 球形貯槽の倒壊による火災及び爆発，高圧ガス，Vol.49，No.6，pp.457-467，2012.

10) 湯山安由美，庄司学，梶谷義雄：大規模地震・津波災害時における火力発電所供給能力評価手法の構築に向けた発電機能低下・復旧遅延要因の体系的整理，日本地震工学会・大会－2017 梗概集 (DVD-ROM), P4-26 (Poster), 2017.

11) 気象庁：震度データベース検索，
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/ (2018.4.11 参照)

12) 土質工学会 東北支部：1983 年日本海中部地震被害調査報告書，1986.

13) 火力原子力発電技術協会 震災復旧調査委員会：東北地方太平洋沖地震 火力発電所の被害と復旧調査報告書，2012.

14) 東京電力：東北地方太平洋沖地震に伴う電気設備の停電復旧記録，2013.

15) 鈴木敞：最近の火力発電と用水事情，工業用水，第 325 号，pp.32-47，1985.
16) 総務省消防庁 石油コンビナート等防災体制検討会：石油コンビナート等防災体制検討報告書，2013.
http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/sekiyu_bousaitaisei/houkokusho/houkokusho.pdf
17) 国土交通省：第 3 回コンビナート港湾における地震・津波対策検討会議の概要について，2012．http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk7_000012.html
18) 高圧ガス保安協会：平成 29 年度石油精製等に係る保安対策調査等事業（高圧ガス設備等耐震設計基準の性能規定化に向けた調査研究），報告書，2018（経済産業省 HP で公表予定）.
19) 高圧ガス保安協会：平成 26 年度石油精製業保安対策事業（高圧ガス取扱施設における地震，津波時の対応に関する調査），(2) 津波の波力，設備の浮力，漂流物の影響等の評価手法の検討，報告書，2015．http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/000127.pdf
20) 高圧ガス保安協会：平成 24 年度経済産業省委託石油精製業保安対策事業（高圧ガス取扱施設における地震・津波等の対応に関する調査）(2) 津波対策として新たに危害予防規程において定める事項の具体的対応策の検討，報告書，2013.
21) 宮城県：石油コンビナート等防災計画の見直し（案）について.
https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/245450.pdf
22) 茨城県：茨城県石油コンビナート等防災アセスメント調査報告書，2015.
https://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/shobo/sangyo/info/sangyohoan/konbinaato/documents/houkokusho.pdf
23) 千葉県：千葉県石油コンビナート等防災計画，2017.
https://www.pref.chiba.lg.jp/shoubou/sonohoka-saigai/sekiyu/bousaikeikaku/
24) 九都県市首脳会議：提言書（石油コンビナート等民間企業の減災対策について），2013.
http://www.bousai.metro.tokyo.jp/bousai/1000019/1000913/1000161.html
25) 神奈川県：神奈川県石油コンビナート等防災アセスメント調査報告書，2015.
http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f5050/p714212.html
26) 愛知県石油コンビナート等防災本部：愛知県石油コンビナート等防災計画，2017.
http://www.pref.aichi.jp/soshiki/shobohoan/0000069900.html
27) 三重県：三重県石油コンビナート 防災アセスメント報告書（概要版），2014.
28) 福井県：福井県石油コンビナート等防災計画，2017.

http://www.pref.fukui.lg.jp/doc/kikitaisaku/bousaikeikaku.html
29) 大阪府：大阪府石油コンビナート等防災計画（平成 29 年 4 月修正），2017.
http://www.pref.osaka.lg.jp/hoantaisaku/bousaikeikaku/bousaikeikakuh2904.html
30) 香川県：香川県石油コンビナート等防災計画，2016.
http://www.pref.kagawa.lg.jp/content/dir2/dir2_8/dir2_8_5/wxhl90150306194618.shtml
31) 岡山県：岡山県石油コンビナート等防災本部：岡山県石油コンビナート等防災計画（水島臨海地区），2017.
http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/277932_993495_misc.pdf
32) 山口県：山口県の石油コンビナート，2018.
http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a11600/sanhoan/industrial-comp2.html
山口県石油コンビナート等防災計画，2018.
http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a11600/sanhoan/kombi_dpp/yamaguch01.html
岩国・大竹地区石油コンビナート等防災計画，2018.
http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a11600/sanhoan/kombi_dpp/iwakuniotake.html
33) 福岡県：福岡県石油コンビナート等防災計画，2017.
http://www.bousai.pref.fukuoka.jp/dpinfo/sekikonkeikaku27.html:preview?id=1981
34) 大分県：大分県石油コンビナート等防災計画，2018.
http://www.pref.oita.jp/soshiki/13560/sekikonkeikaku.html
35) 鹿児島県：鹿児島県石油コンビナート等防災計画，2016.
http://www.pref.kagoshima.jp/aj03/kurashi-kankyo/anzen/kayaku-gasuhoan/sekiyu/sekiyu.html
36) 石油コンビナート等災害防止法.
http://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_housei.nsf/html/houritsu/07619751217084.htm
37) 神奈川県：神奈川県石油コンビナート等防災計画，2018.
http://www.pref.kanagawa.jp/docs/a2p/cnt/f5050/p15003.html
38) 川崎市：川崎市臨海部防災対策計画，2017.
http://www.city.kawasaki.jp/kurashi/category/15-3-40-1-6-0-0-0-0-0.html
39) 神奈川県：神奈川県石油コンビナート等防災アセスメント調査，2018.
http://www.pref.kanagawa.jp/docs/a2p/cnt/f5050/p714212.html

３．耐震・耐津波性評価の検証と設計・施工技術

3.1　臨海部コンビナートの地震時被害の特徴

臨海部コンビナートには、石油精製、石油化学、エネルギー施設等の危険物を扱う事業所が集中している。その多くは原料輸入や製品出荷のための港湾整備と併せて海底浚渫土で埋立て造成された軟弱な地盤上に建設されており、地震時の揺れが増幅しやすくかつ地盤の液状化も起きやすい。さらに臨海埋立地の地盤高さは一般的に低く、津波襲来時の建物・機器類の浸水被害や危険物タンクや空のローリー車等の流出の可能性も考えなければならない。

(1)　地震動による被害

1978 年の宮城県沖地震では、仙台の製油所で 3 基のタンクで側板と底版の溶接接手部の破断によって内容油が流出した。　2011 年の東北地方太平洋沖地震では、東京湾内の製油所で球形貯槽のブレース破断による倒壊で大規模なガス爆発火災も起きている。また、周期 5～10 数秒の長周期地震動に対する石油タンクのスロッシングで内容油がタンク側板頂部から溢流した被害もこれまで多く経験し、2003 年の十勝沖地震では震源から 250km 離れた苫小牧でタンク浮き屋根の破壊・沈没に全面火災に至っている。

機械設備では機器を基礎に固定するアンカーボルトの引抜きの事例が多いが、機器本体の転倒などに至るケースは少ない。しかし、工場建物内の天井クレーンや、屋上や架台上に設置された水槽など、建屋上層部で増幅された応答加速度を受けて重量の大きい設備が支持構造から落下・転倒する事例は多い。発電所のボイラーも熱伸びを許容するため架構頂部から本体を吊下げているが、架構の揺れで振れ止め金具、ボイラー管、チューブ接続部の破断が兵庫県南部地震および東日本太平洋沖地震で発生している。

(2)　地盤変状による被害

1964 年の新潟地震で石油タンクや装置群が沈下・傾斜して大量の油の流出と数日間も続いた火災の要因として砂地盤の液状化現象が注目されたが、その後も 1986 年の十勝沖地震での八戸港の製紙工場のタンク傾斜、1995 年の兵庫県南部地震でも埋立地のタンク・装置群が沈下・傾斜するなど、地盤液状化による被害を繰返し受けている。この地震の際には、埋立地で護岸と背後地盤の数 m 規模の側方流動が発生し護岸と背後のコンテナクレーンなどの港湾施設が大きな被害を受けた。

一方、機械設備では新潟地震で煙突や製造装置が地盤液状化で倒壊・傾斜したほかには、地盤変状による大きな被害は報告されていない。埋立地に建設されたプラント群は地盤支持力を確保するために杭基礎工法や地盤改良によって支持力を増大させたことが被害軽減に繋がったと見られている。しかし埋設配管は地盤の変状による強制変位を受けて大きく変形し、溶接やフランジ接合部で破断・内容物の漏洩が起きている。特に杭基礎建物外壁を貫通する地中配管やケーブルが液状化による地盤沈下でせん断破壊する事例が多い。兵庫県南部地震の際に、埋立地の冷凍ガスタンクの接続配管のバルブ

の支持架台が地盤液状化により地中に沈み込み、その自重が掛かって配管が大きく変形してフランジ部から大量のガスが漏洩した。これは地上配管の例であるが、配管の拘束点間の相対変位による損傷という点で地中配管の事例と同じパターンである。

(3) 津波による被害

東北地方太平洋沖地震では津波の浸水がコンビナート施設に新たな被害をもたらした。既存の臨海コンビナートが形成されて初めて経験した津波の流圧による石油タンクやローリー車等の漂流と、浸水による電気・制御機器の塩害に代表される。また、津波警報で荷役を停止したものの原油タンカーのローディングアームと十数本～20 本の係留索の切り離しに手間取り、タンカーが津波に翻弄されて桟橋や防波堤などに衝突してこれらを破壊する被害もあった。この時には荷役作業員が逃げ遅れて犠牲になっている。津波被害を防ぐ唯一の対策は、想定津波高さより高い土地に設備を建設することであるが、臨海埋立地の大半は津波を考慮せずに造成され、且つ粘性土地盤の圧密沈下も加わって地盤高さは平均潮位から 3～4m 程度であり、浸水を前提とした対策が必要になってくる。

3.2 既存施設の耐震性（耐震基準の変遷）

臨海埋立地の工場群の多くが戦後、特に昭和 30 年代に始まる我が国の高度経済成長に合わせて建設されている。建設当時には耐震設計基準はまだ確立されておらず高圧ガス設備や石油貯蔵タンク等の設計には建築基準法を準用してきたが、その後の各種地震被害を受けて次第に基準の整備が進み危険物施設や高圧ガス設備等の新設時に適用され、既設設備についてもこれに準ずる基準で補強が進められてきた。表 3-1 にこれまでの各耐震基準の変遷を示す。

(1) 危険物タンク

1964 年の新潟地震では、基礎地盤の液状化による石油タンクや精製装置の沈下とタンク貯蔵油のスロッシングによるタンク火災と油溢流、さらにタンク周囲のブロック造防油堤の破壊で流出した油の拡散で火災が拡大し 100 基を超えるタンクが焼失・破壊した。1974 年には、タンク水張り試験中に直立階段取付工事を行ったためにその基礎の埋戻しの際の締固めが不十分となり、運転中のタンク荷重による基礎の局所沈下が進行しタンク側板と底板の隅肉溶接部の割れ破壊が発生し 4 万 KL の油が防油堤内に流出した。さらに、引続いて直立階段が転倒して防油堤を破壊したために、防油堤外に油が拡散しその内 1 万 KL が海上に流出した。1978 年の宮城県沖地震では、タンク底板の腐食減肉箇所から割れて、石油タンク 3 基から約 3 千 KL の油が海上に流出した。2003 年十勝沖地震時には、震源から 250Km 離れた苫小牧で浮屋根タンクのスロッシングで屋根が沈没し日本で初めてとなるタンク全面火災に至り、全国から大量の泡消火剤を集めて消火に尽力したが消火まで 44 時間を要した。さらに 2011 年東北地方太平洋沖地震では東京・新潟等の湾岸埋立地の浮屋根タンクの屋根上への油流出・浮屋根沈没などを経験し

た。この2件は震源から遠く離れたところでの長周期地震動による内溶液のスロッシングが原因である。

これらの石油タンク被害事例を基に、1977年には石油タンクの本体・基礎・地盤の強度規定が大幅に改正され、地盤液状化によるタンク基礎地盤の変形防止，タンクロッキング荷重に対する盛土基礎の強化、タンク側板と底板の継手部の耐力増強の設計が義務付けられた。さらに2005年に地域毎に長周期地震応答スペクトルが規定されタンクのスロッシング応答と浮屋根の構造設計が導入された。この一連の石油タンク耐震設計規定の改正に合わせ、既設のタンク設備に対してもこの基準に準じた耐震補強が義務付けられ、500 KL以上の危険物タンクの耐震強化が進められた。

(2) 高圧ガス施設

1981年の高圧ガス設備等耐震設計基準（告示515）が公布されて、爆発等の災害時に予想される周辺地域への影響度を表す“重要度”ランクで設備毎の耐震設計が初めて制定された。それ以前に建設された既存設備については建築基準法の地域別の設計震度を使った震度法で設計されていたが、1982～1984年に貯槽類，塔類，平底円筒貯槽の既存設備に対する補強基準が公布され、基準を満足しない設備・部材の補強を行ってきた。その後、1995年の兵庫県南部地震で液状化による地盤沈下がLPG平底貯槽とその接続配管が不等沈下を起こしてLPガスが漏洩し、同時に観測された地震動が設備の設計地震動を大きく超えたこと、さらに湾岸埋立地での護岸側方流動に伴う地盤変位による桟橋・配管・の被害を受けて、1997年に従来設計の二倍の地表加速度としたLevel-2地震動が導入され、さらに地盤の側方流動に対する設計も追加されて重要度の高い（Ia及びI）設備に適用されることになった。2011年の東日本太平洋沖地震では、各地でタンクスロッシング被害とLPG球形タンクの倒壊と爆発が起きたことから、設計用の長周期地震動の改正と球形貯槽の鋼管ブレースの技術基準を新たに追加し該当する既設貯槽のブレース補強を実施した。

(3) 建築物

1923年に東京下町の木造家屋が倒壊し同時に発生した火災で10万人超の死者・行方不明者を出した大正関東地震の際に水平震度0.1で設計したRC造の日本興業銀行が被害を受けなかったことから、市街地建築物法を改正して設計水平震度 0.1及び材料安全率3とした我が国初の耐震設計基準が生まれた。1950年にそれまでの“市街地建設物法”を停止して“建築基準法”を制定した際に、設計震度0.1を0.2に、材料安全率3を1.5と改訂して現在に至っている。その後、1968年の十勝沖地震でのRC造建物の短柱のせん断破壊を受けて1971年にRC造柱の帯筋を増やし、1981年には超高層ビルの設計技術“新耐震設計法”を一般建物に導入し、従来の一次設計に加えて保有水平耐力を評価する二次設計（Co=1.0）を定めた。さらに1995年の兵庫県南部地震でもRC造建物の崩壊が発生したことを受けて、2000年に従来の許容応力度計算に加えて限界耐力計算法が認められることになった。

3.3　地震・津波災害対策の課題

以上述べた通り、臨海コンビナート地区における地震被害の特徴を反映した耐震設計及び補強が進められ、過去と同じ被害は相当程度に防止できている。しかし、兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震でこれまで経験しなかった強震動、埋立地盤の大規模側方流動、10mを超える津波、など現行基準で想定していない地震挙動が観測された。これらに対してどう備えるのかについては、今後の課題である。

(1)　護岸の側方流動に伴う地盤変状の影響

側方流動で敷地の広い範囲で起きる地盤変位は既存設備の設計の想定外である。護岸から海に繋がる桟橋や配管の大変位や、貯蔵タンク周りの鉄筋コンクリート製の防油堤の破壊，タンク基礎杭の破損による本体の傾斜，接続配管の過大変形による破損・漏洩の結果、高圧ガスや油の海上流出に至る可能性は無視できない。

危険物タンク等の集積する臨海コンビナート地区で複数の油流出が起きれば、港湾機能の数日～数週間の停止に繋がり、海上からの救援物資や避難者の移送、その後の護岸復旧と原材料・製品の輸送の制限が工場操業再開の足かせとなる。東京湾、伊勢湾，大阪湾など、コンビナート事業所だけでなく貿易港として国内外の物流機能を兼ね備えている港湾で長期の機能不全に陥った場合の地域経済に与える損失は莫大なものになる。

しかし、現行の設計基準の中で地盤の側方流動現象を追加したものは、道路橋示方書（1996 年），鉄道構造物等設計標準（1998 年），水道施設耐震工法指針（1997 年），高圧ガス設備等耐震基準（1997 年）であるが、側方流動の規模の想定、設計外力の設定，対策法など設計の核の部分で基準間のばらつきがあり、今後の研究で現象の解明を進め統一的な設計基準が待たれるところである。

(2)　津波の浸水被害、または津波力の影響

東日本太平洋沖地震の津波では、電気室や制御室の浸水による電気・計装機器の故障で完全に機能停止した事例が多数あった。これら重要な設備は津波の浸水を受けない高所に設置することが対策となるが、津波に対する設計基準が無い現状では港湾毎に設計浸水深さを決めることから始めることになる。

一方、この地震では津波の流圧で石油タンク、ガスボンベやタンクローリー車が流された地域があったが、この津波の圧力に対する設計は未だ確立されていない。

津波対策は津波高さ想定を前提にするが、これは震源位置と海底及び沿岸地形によって左右されることからコンビナートを抱える地域毎に想定する必要がある。

(3)　強震動記録と構造物被害との乖離

兵庫県南部地震の際に強震観測網の粗さから被災状況の把握に時間が掛かったことの反省から、その後は全国的な強震観測網が構築された。このとき整備された強震観測網は各地の地震動予測の進展に寄与したが、観測点の増大とともにこれまでの耐震設計の想定を大きく超える加速度が観測されるようになった。これにより建築物に代表され

る耐震構造物の被害と加速度で表す地震強度の相関が小さくなり、耐震設計上の課題となっている。このため、地震時の建物被害の統計分析では地震加速度の代わりに計測震度と被害率の関係を示している。この指標を使った建物被害統計からは、耐震基準の進歩とともに建物被害率の低下が明らかとなっている。しかし、建築物の設計震度に相当する係数は 0.2 で基準制定当初から変わらず、後から規定されたコンビナート地区の各種設備の設計地震動（設計震度≒0.3～0.6）は建築基準から乖離して来ている。

建築に限らず、耐震構造物の設計精度向上には地盤上の構造物が実際の地震でどのように揺れているのかを知ることがカギになる。その上で、現在の耐震設計の標準となっている地震応答スペクトル法が実挙動を反映しているか、今後の地震被害の統計的調査や実験等を通じて検証すべきである。

(4)　公共インフラ耐震化との連携

コンビナート地区の事業は輸入原材料を海上から受入れて生産物を海路及び陸路から輸送するため、地震後も航路や道路などの交通が確保できなければならない。そのため、港湾及び航路は流出油の海面火災や漂流物の除去が、または幹線道路上の倒壊建物等のがれき除去も出来るだけ早期に実施する必要がある。南海トラフ巨大地震など広域災害時に、民間・自治体・国が連携して効率的な事後対応を採ることが重要である。

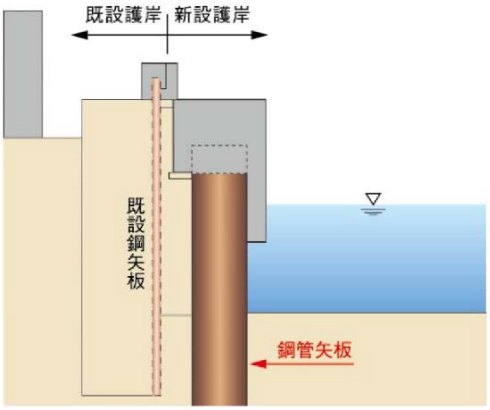
また、事前のハード面の対策でも工場外から供給を受けている電力・ガス・工業用水ラインの供給が停止すれば、工場設備に被害が無くても生産停止に追い込まれる。コンビナートでは関連事業者間が配管やケーブルで繋がっており、一か所の停止が全体の操業にも影響することから、一事業者単独の対策ではなく複数事業者・自治体の関連部門と一体となった対策が必要である。

3.4　強靭化対策の設計・施工技術と対策効果

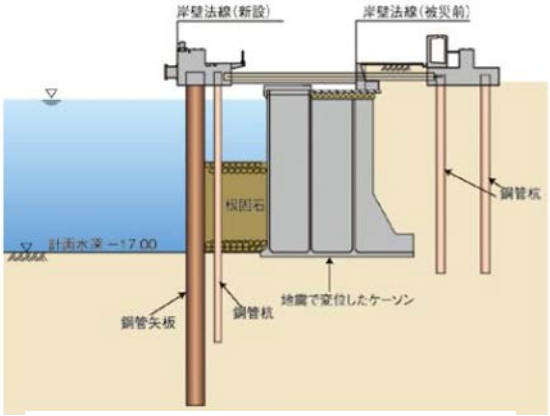
前節で地震被害対策の課題に挙げた地盤の側方流動と津波のうち、側方流動による既存設備の被害軽減対策について現在までの研究成果を紹介する。

既設施設の対策では、地中・地表障害物の存在や大型施工機械のアクセスの困難さから莫大な費用が掛かること、並びに対策実施後の流動防止・抑制効果の検証がまだ研究段階であることから、、まだ本格的な適用には至っていない。

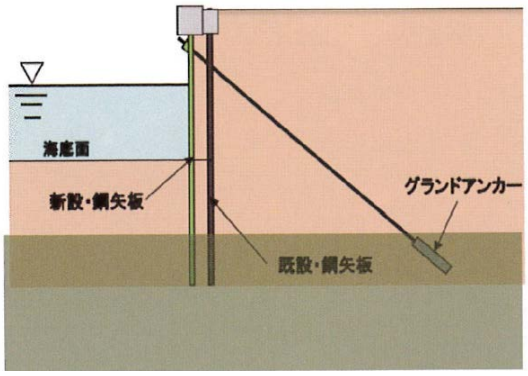
護岸の移動に伴う背後地盤の側方流動対策は、大きく二つに分類される。一つは側方流動そのものを防止・抑制する、すなわち護岸補強や背後地盤の移動を抑制する方法である。二つ目は護岸近傍で側方流動の影響を受け易い構造物の基礎及び地盤を補強する方法であり、既存基礎の周囲に新たに杭を打設したり地中連続壁で囲む方法などが提案されている。これまで提案されている対策工法を図 3-1 に示す。



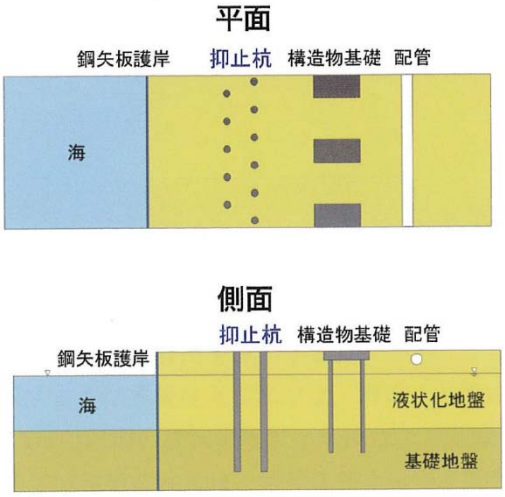
a.　鋼管矢板・鋼矢板による対策

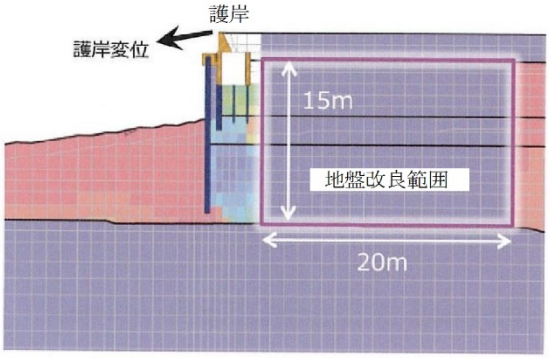


a-1 神戸製鋼所の加古川製鉄所の例

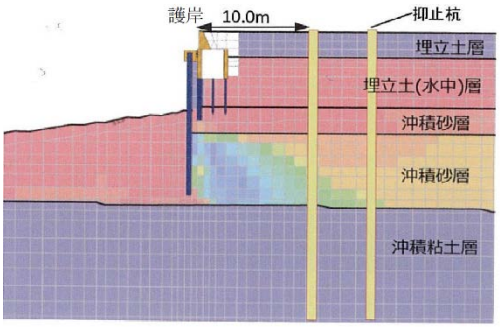


b.　アースアンカーによる対策





c.　地盤改良による対策



d.　抑止杭による変位抑制対策

図 3-1　護岸の側方流動対策

（「臨海産業施設のリスク」濱田政則著，一般社団法人 日本鉄鋼連盟，より引用）

表 3.1（1）我が国の耐震設計基準の変遷（建築基準、港湾基準）

地震他災害		建築基準	港湾の施設の技術上の基準
1891	濃尾地震(M8.0)	1892 震災予防調査会発足 木造建築の耐震研究開始	
		1919 「市街地建築物法」制定, 日本における建築構造の最初の法規で、重力のみ考慮, 建築高さ制限(100尺=31m以下)	
1923	関東地震(M7.9) 地盤の違いで建物被害に差(下町で木造建物, 山の手で土蔵造りに被害多). 最新の煉瓦造洋風建築の崩壊	1924 「市街地建築物法」に設計震度0.1, 材料安全率 3を追加. 関東地震で多くの建物倒壊の中、日本興業銀行(RC造, 水平力比 0.067)が無被害であった事から規定.	
1944	東南海地震(M7.9)		
1946	南海地震(M8.0)		
1948	福井地震(M7.1)	1950 「市街地建築物法」を廃止し「建築基準法」を制定 ① 設計震度を0.1→0.2に、 ② 材料安全率を3→1.5に変更. ③ 壁量の規定	1950 日本で初めての技術基準「港湾工事設計示方要覧」で、係船岸設計, 浚渫埋立計画・施工, 防波堤設計示方書の3編が発行. ① 水平震度 =0.05～0.3, ② 常時&地震時土圧 ③ 滑動・転倒の安全率 ＞1.2及び1.5 等
		1952 地域の地震活動度に応じて設計震度低減	1959 「港湾工事設計要覧」制定; ①設計震度に地域区分導入, ②地盤及び杭の支持力, 軟弱地盤対策 ③円弧滑り安全率＞1.2(地震時) ④矢板式及びセル式係船岸の計算法 ⑤工事用基準面として基本水準面の採用
1964	新潟地震(M7.5) 液状化被害	1965 ビル高層化要求とｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰの進歩を受けて、高さ制限(31m)を解除.	1967 港湾技術研究所(1962設立)を中心に「港湾構造物設計基準」制定; ① 船長を元に水域施設の諸元設定, ② 設計震度を地域・地盤・重要度係数で定義 ② 液状化の概念.
1968	十勝沖地震(M7.9) RC造に被害多(短柱のせん断破壊) 木造建物の被害は少ない	1971 十勝沖地震でRC造建物の短柱のせん断破壊が多発したことを受け、構造基準改正 ① RC帯筋間隔を小さく 30cm→15cm, ② 木造建物の基礎強化(一体のｺﾝｸﾘｰﾄ造) 1972～1976 建設省耐震総合プロジェクト ① 超高層の設計技術の一般化, ② ねばりの設計	1979 港湾法改正(S48)で、「港湾施設の技術上の基準」(S49省令)に基づいて建設・維持管理が義務付け. 液状化判定法, 防舷材の設計等
1974	水島製油所でタンク底版破壊 瀬戸内海に大量の重油が流出		
1978	宮城県沖地震(M7.4) ﾀﾝｸ底板破断、ライフライン被害 建物の非構造材(ｶﾞﾗｽ・外壁)落下	1981 超高層ビルの設計技術『新耐震設計法』を一般建物に導入する法令改正 ① 従来設計に加え、二次設計(Co=1.0)を採用 ② 一次設計では許容応力度(弾性)、二次設計では大地震時の保有耐力・許容変形を規定	
1983	日本海中部地震(M7.7) 長周期地震動		1989 「港湾施設の技術上の基準」改正; 液状化判定, 地盤改良, 杭支持力算定等の改正
1993	北海道南西沖地震		
1995	兵庫県南部地震(M7.2) 護岸側方流動によるコンテナクレーン倒壊, 強震動で建物・高架道路倒壊, 液状化によるLPGタンク配管からガス漏洩など	2000 兵庫県南部地震で、中層ビルの途中階やピロティ構造の崩壊等被害が多く発生したことを受け、耐震設計法が改正. 性能規定が導入され、従来の許容応力度設計法に加えて限界耐力計算法が規定された。	1999 「港湾施設の・・基準」改正; ﾚﾍﾞﾙ2地震設定, 地域別震度改訂, 保有水平耐力法, など
2003	十勝沖地震(M8.0) 250Km離れた苫小牧のタンク火災		2006 「港湾施設の・・基準」改正; 性能規定化, 維持管理計画策定義務付け
2011	東北地方太平洋沖地震(M9.0) 津波, 長周期地震動, LPGタンク倒壊		

表 3.1（2）我が国の耐震設計基準の変遷（危険物規制、高圧ガス保安法）

地震他災害		危険物規制	高圧ガス保安法
1891	濃尾地震(M8.0)		
1923	関東地震(M7.9)		
1944 1946	東南海地震(M7.9) 南海地震(M8.0)		
		1959「危険物規制」制定 ① 近隣への延焼防止のため保安距離，ﾀﾝｸ間延焼防止のため保有空地を規定. ② ﾀﾝｸは3.2mm以上の鋼板造で、耐風・耐震構造とする. ③ 防油堤はｺﾝｸﾘｰﾄ造・ｺﾝｸﾘﾌﾞﾛｯｸ造・煉瓦造とし、容量はﾀﾝｸ容量の50%以上.	1951「高圧ガス取締法」制定 （新憲法に即した法体系を制定） 1963 同法改正 ① 自主保安体制の確立， ② 高圧ガス保安協会(KHK)設立
1964	新潟地震(M7.5) 液状化被害	1965 新潟地震でのﾀﾝｸ火災・流出油拡散を受けて ① ﾀﾝｸと配管の接合部の耐震強化 ② 防油堤にﾌﾞﾛｯｸ造や煉瓦造は禁止	
1968	十勝沖地震(M7.9)		
1974	水島製油所でタンク底版破壊 瀬戸内海に大量の重油が流出	1975 「石油ｺﾝﾋﾞﾅｰﾄ等災害防止法」制定 ①（自営&共同)防災組織の義務付け ② 消防三点セット(大型化学・高所放水・泡原液搬送車)，ｵｲﾙﾌｪﾝｽ・油回収敷材等整備. ③ 敷地外周に流出油防止堤の設置	
1978	宮城県沖地震(M7.4) ﾀﾝｸ底板破断、ライフライン被害 建物の非構造材(ｶﾞﾗｽ・外壁)落下	1976 新潟地震の液状化被害と水島製油所タンク油流出事故を受け、タンク(千KL以上)基準強化 ① 地盤液状化による不等沈下，支持力破壊防止 ② 基礎の滑り破壊防止と底版腐食防止， ③ 本体の強化（設計震度0.3→0.4～0.5） ④ 底版(ｱﾆｭﾗｰ版)厚を増大(6-12 → 15-21mm) ⑤ 防油堤容量を増大(タンク容量の50%→110%)	1981 「高圧ガス設備等耐震設計基準」(告示515)公布: ① 発災時の周辺への影響度に応じて設備の重要度を定義し、重要度ごとに要求耐震性能を設定 ② 重要度に応じた応答解析(静的震度法，修正震度法，時刻歴応答解析)規定
1983	日本海中部地震(M7.7) 長周期地震動	1983 宮城県沖地震(1978)でﾀﾝｸ油流出事故を受けてﾀﾝｸ耐震基準の見直し ① 短周期地震に対する設計震度(Kh= 0.45～0.55)と動液圧計算手法、許容応力を改正. ② ﾀﾝｸｽﾛｯｼﾝｸﾞ設計手法(固有周期，設計震度)が規定され、ﾀﾝｸ空間高さを要求	1982-1984 告示515に準じて既存高圧ガス設備の耐震性点検&補強指針として、「既存高圧ガス設備の耐震性向上対策について(通達)」を通知 ① 許容応力は新設基準より大幅に緩和 ② 対象設備は、球形貯槽，横置き円筒貯槽，塔類，平底円筒型貯槽.
1993	北海道南西沖地震	1994 既存旧法ﾀﾝｸ(S52以前建設で千KL以上)に対し、最小限の耐震性能を規定し性能確保を義務付け ① 基礎地盤の液状化判定PL<5を確保 ② 本体耐震性確保(実液比重の採用，許容応力を大きくして新法ﾀﾝｸ(S52以降建設)より緩和)	
1995	兵庫県南部地震(M7.2) 護岸側方流動によるコンテナクレーン倒壊，強震動で建物・高架道路倒壊，液状化によるLPGタンク配管からガス漏洩など	1998 兵庫県南部地震で小規模ﾀﾝｸ破損，配管からの漏洩を受けて、油流出対策強化 ① 1万KL以上のﾀﾝｸ配管に緊急遮断弁設置 ② 既設小規模ﾀﾝｸ(500-1000KL)の基礎・地盤・本体の耐震強化	1997 兵庫県南部地震におけるタンク配管のガス漏洩事故等を受け、耐震設計基準を改正 ①配管の耐震設計基準を追加、 ②Level-2地震を導入し塑性変形を許容， ③液状化に加えて側方流動を追加
2003	十勝沖地震(M8.0) 250Km離れた苫小牧のタンク火災	2005 苫小牧のﾀﾝｸｽﾛｯｼﾝｸﾞで溢流・浮屋根沈下・火災を受けて浮屋根ﾀﾝｸの耐震強化 (一枚板構造の浮屋根の2万KL以上のﾀﾝｸを対象に) ① 浮屋根の浮室部の浮力強度計算を規定 ② 浮室の溶接仕様を規定 2007 既設ﾀﾝｸの浮屋根の耐震補強を義務付	
2011	東北地方太平洋沖地震(M9.0) 津波，長周期地震動，LPGタンク倒壊		2011-2013 東北地方太平洋沖地震で石油タンクのｽﾛｯｼﾝｸﾞ被害と球形タンクの倒壊・爆発火災事故を受け、耐震設計基準の改正と既存球形タンクの改修を義務付け ①長周期地震動の地域係数を改正 ②球形タンクの鋼管ﾌﾞﾚｰｽ交差部の強度評価法 ③既存タンクの評価と補修の義務付け

参考文献：

(1)　大林組技術研究所報「液状化側方流動抑止杭工法」No.76, 2012
(2)　濱田政則「臨海産業施設のリスク」, 2017
(3)　一般社団法人 日本鉄鋼連盟「臨海部における護岸の側方流動対策」, 2010
(4)　神奈川県高圧ガス保安協会「高圧ガス施設等耐震設計基準の変遷について」, 2014
(5)　次郎丸　誠男「危険物規制と防災安全」, 2009
(6)　東京消防庁監修「危険物施設基準の早わかり」, 2013
(7)　森　保宏「よく判る建物の耐震設計」, 名古屋大学 地震災害に関する懇話会発表資料、2001
(8)　山本修司「港湾技術基準及び設計法の変遷と展望」(財)沿岸技術研究センター論文集、2004
(9)　山口健志「東日本大震災における仙台製油所の防災活動について」, Safety&Tomorrow No.144, 2012
(10) 高圧ガス保安協会「高圧ガス設備等耐震設計指針(2012) レベル２耐震性能評価」
(11) 内閣府「防災情報のページ」他、震災情報多数

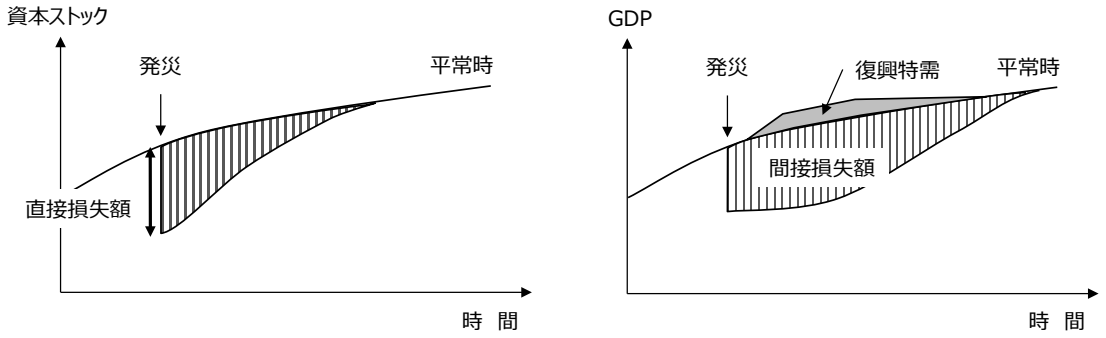
４．臨海産業・エネルギー施設のリスク評価

4.1　直接損失額（ストック被害）と間接損失額（フロー被害）

ストックとフローについて、経済的視点から整理する。フローは一定期間（例えば 1 年間）の間に生産された量を表し、国内総生産 GDP（Gross Domestic Product）などの経済指標で表すことができる。ストックは、任意の時期の資産の残高量に相当し、いわゆる資本ストックが指標となる。資本ストックは、企業が所有する建物や設備などの固定資産（減価償却は考えない粗資本ストック[注)] とする）に加え、国や自治体が産業や生活の基盤として整備した社会資本などの総残高である。ストックは、GDP の一項目であるフローの設備投資によって毎期増加する。このため、ストックとフローは循環する関係にある。なお、非営利団体の投資ならびに住宅は生産に直接関与しないことから対象外である。直接損失額はストック被害を貨幣換算したものであり、間接損失額はフロー被害を貨幣換算したものである。文献 1),2)に定義や考え方が示されおり、これらを参照し、以下に直接損失額と間接損失額を整理する。

図 1 は、自然災害による資本ストック、ならびに GDP への影響を、経時的に示した概念図である。(a) が資本ストック、(b) が GDP である。先ず、発災によりストックが被災することで財物が喪失する。これが直接損失額に相当し、財務上は滅失資産として扱われる。滅失資産は、粗資本ストックを前提とした場合、簿価額ではなく再調達価格がベースとなり、現状復旧に必要な金額になる。直接損失額は図 1 の(a) に示すように一過性の損失であるが、再建される過程において、復興特需として経済を押し上げる効果をもたらす。なお、労賃や資機材の高騰、性能の向上などによって、直接損失額以上の特需が生じる場合がある。

一方、生産に用いたストックが失われることで、生産活動は一時的あるいは長期間停止する。さらに消費者心理の低下も手伝い消費は減退する。これらは GDP を押し下げ



(a) 資本ストックの推移　　(b) GDP の推移

図 1　直接損失額と間接損失額の概念図

る効果をもたらし、その推移を表したのが図 1 b)である。GDP は発災後に低下し、その影響は一定期間継続する。これが間接損失額であり、経過時間に対し積分して求められる。また、同図には前記した復興特需の効果も併記している。間接損失額を低減するには、早期の復旧・復興を目指すことは言うまでもないが、被災したストックを効率的に復旧し、復興特需の効果を遍く行き渡されることも重要である。

例えば、豊田[3]は兵庫県南部地震による直接損失額を 13 兆円と推計し、その内住宅（非営利）を除いた産業の資本ストックの喪失は約 6 兆、間接損失額は約 7 兆円と推計している。中央防災会議[4]が 2013 年 9 月に公表した首都直下地震による直接損失額は約 47 兆円、間接損失額は約 48 兆円と推計している。なお、直接損失額 47 兆円の中には、家屋（非営利）が相当額含まれている。南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）[5]、また、同会議が南海トラフ巨大地震における被害推定では、直接損失額は約 97 兆円、間接損失額は約 45 兆円と推計している。

注）粗資本ストック（Gross capital stock）は、現存する固定資産について、評価時点で新品として調達する価格で評価した価値。これ以外に、純資本ストック（Net capital stock）や生産的資本ストック（Productive capital stock）などがあるが、災害復旧を念頭に置いた場合には、再調達価格に相当する粗資本ストックがよいと考える。

4.2　産業施設の財務から見た直接損失額と間接損失額

東日本大震災を受け、日本公認会計士協会は会長通牒として企業向けの災害時監査対応[6]を公開した. これらを参照し、企業財務の視点での直接損失と間接損失を整理する。

産業施設の損失額は、財物損失と逸失利益（営業損失とも言う）に大別[7]できる。財物損失は建屋や製造設備等の有形固定資産の損失と、仕掛品や在庫品などの流動資産、特に棚卸資産の損失からなり、それぞれ扱い方が異なる。まず、有形固定資産については、施設の再調達価格（再建するのに必要な費用，時価と同じ）と簿価上の価格とは一致しない。このため、財物損失額は再調達ベースの損失額に加え、貸借対照表から差し引く除去損（簿価上での滅失資産額）も計算しなければならない。つまり、有形固定資産の財物損失額は、再調達ベースと簿価ベースの 2 つの計算が必要になる。また、仕掛品や在庫品などの流動資産は、少なくとも 1 年以内には換金できる資産であるから、簿価格も再調達ベース価格も同じである。まとめると、表 1 のようになる。

一方、逸失利益は、地震が発生しなければ稼げた利益に相当し、基本的には、事業停止日数に一日当りの固定費を乗じて求められる。ただし、事業停止が長期に及ぶ場合には、何らかの付加的損失を考慮する必要がある。

表 1　財務諸表に影響する財物損失額 [7]

施　設	分　類	再調達ベース	簿価ベース
建屋，設備機器など	土地を除いた有形固定資産	○	○
仕掛品，在庫品など	棚卸資産	○	

企業財務から見た直接損失額は、除去損を除いた建屋や製造設備、仕掛品や製品等の再調達価格の総額であり、間接損失額は逸失利益に相当する。一方、古橋ら [8]は、東日本大震災で被災した企業の IR 情報から産業別の損害額を調査している。図 2 は、機械製造、パルプ・紙、電機機器、化学、石油精製の 5 業種を取上げ、財物損失額と逸失利益の比を、文献 8)から読み取ったものである。逸失利益に比べ、総じて、財物損失額の方が大きく、財物損失額中でも再調達価格の占める割が大きいのが特徴である。このことは、事業停止による逸失利益も重要であるが、財物損失、特に再建費が経営を圧迫する主因となることを意味している。事実、東日本大震災では、施設を再建するための費用が工面できず、事業を再開できない企業が多くあった。

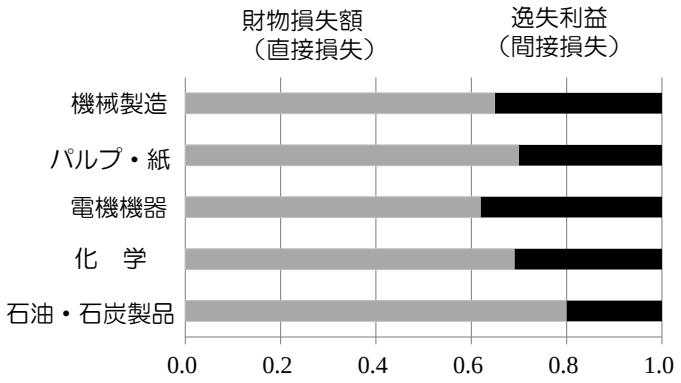


図 2　業種別の財物損失額と逸失利益の比

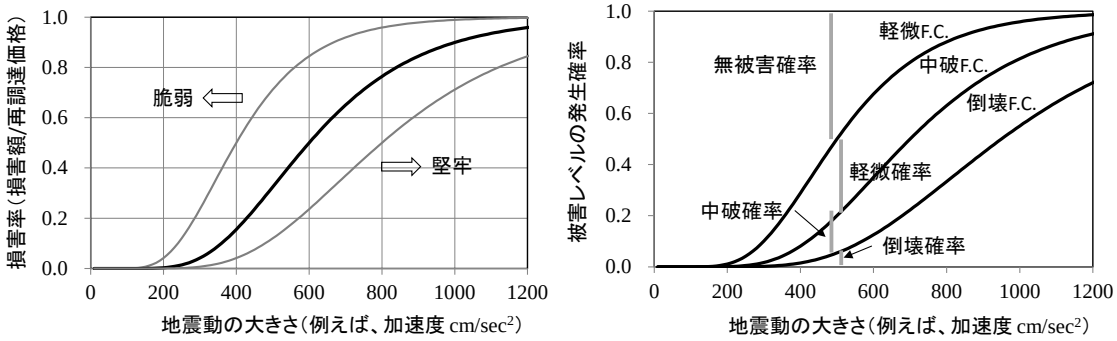
また、松下ら [9]は東日本大震災による上場製造業の IR 情報を使い、同様の検討を行った上で、BCP や金融対策の有無による財務状況への効果を考察している。

4.3　直接損失額の推計方法

直接損失額の推計には、地震保険料率等の算定において整備された被害関数を利用する方法と構造信頼性理論をベースとした確率論的リスク評価技術を利用する方法がある。前者の方法は、実被害のデータを統計的に分析し、図 2 の a)に示す関数を導き、これを使い損害額を求める方法である。図の横軸は地震動の大きさ（加速度，速度，計測震度など）、縦軸は損害額を再調達価格で割った損害率になる。作用地震動を与えれ

ば、損害額を直接求めることができる便利な関数である。この関数を被害関数、Damage Function、あるいは Vulnerability Curve などと呼ぶ。被害関数は、建物や各種構造物をその用途や構造形式、建設年代などによって分類し、分類された建物や構造物を母数に、被害データをサンプルとして統計的に求めることになる。

後者の方法は、原子力施設の安全性評価や生産施設の地震リスク評価などに利用されており、基本的にはフラジリティカーブと呼ばれる関数を使う。例を図 2 の b)に示す。フラジリティカーブは、例えば、軽微、中破、倒壊など、被害レベル毎の発生確率を求めるもので、被害関数とよく似た形ではあるが、縦軸は損害率ではなく、被害レベル毎の発生確率となっている点に注意が必要である。作用地震動が分かれば、図のように各被害レベルの発生確率が得られ、この確率に各被害レベルの損害額を乗じ、総和することで、損害額を求めることができる。フラジリティカーブの利点は、構造物の設計図書などを参照し、対象構造物固有の耐震性能を反映できる点にある。また、フラジリティカーブから被害関数を求めることもできる。



a）被害関数　　b）フラジリティカーブ

図 2　直接損失額を推計する関数の例

自治体や国などが行う広域の地震被害想定には被害関数を使うことが多く、産業施設や建物の損害額を予測する場合には、フラジリティカーブを利用することが多い。一方、既に発生した地震による直接損失額の推計は、アンケート調査 [3]や IR の公開情報 [8),9)] から推計する方法が主流である.

4.4　間接損失額の推計方法

4.4.1　広域経済

間接損失額は、災害がなければ達成できたであろう経済活動の水準と現実の水準の差である。推計方法には、アンケート調査による方法、産業連関表による方法、地域間の応用一般均衡モデルによる方法など、概ね 3 つの方法がある。

アンケート調査による方法は、被災後の企業へのアンケートや企業からの公開データ

公開などにより、間接被害に関する情報を収集し、これを基に推計する方法である。既に紹介した豊田ら[3]、古橋ら[8]の調査である。また、新潟県中越地震による経済被害推計を行なった中野ら[10]の研究もある。一方、高島ら[11]は兵庫県南部地震を対象に、実質GRP(Gross Regional Product;地域内総生産)と電力消費量との強い相関をもとにして、単純な推計式を用いて被災後の電力消費量から被災地域の実質GRP の減少を推計している。これも、被災後の諸データを活用する点では、アンケート調査による方法に類別できる。

産業連関表による方法は、災害による中間投入の減少を推計し、各生産部門間での財・サービスの相互影響を間接被害額として推計する方法である。先ず、産業連関表であるが、これは財・サービスが最終需要部門に至るまでに、各産業部門間でどのような投入・産出という取引過程を経て、生産・販売されたものであるのかを、一定期間（通常１年間）にわたって記録し、その結果を行列（マトリックス）の形で一覧表に取りまとめたものである。芦屋ら[12]は兵庫県南部地震で被災した地域の産業連関表を作成し、その上で、生産誘発額 10 兆円、付加価値の誘発額 6 兆円を試算している。望月ら[13]は港湾機能が停止した際の輸出入額減少による生産誘発額を主要港湾毎に評価している。

応用一般均衡モデルによる方法は、地域毎、あるいは産業毎の生産関数を類推した上で、災害による資本ストックと労働力の減少による生産の落ち込みを推計する方法である。山崎ら[14]は、南海トラフ地震を想定し、製油所の機能停止に起因して発生するであろう経済損失額を地域間の多地域応用一般均衡モデルを構築し、評価しいている。船瀬ら[15]は港湾機能停止による国際経済への影響を、空間的応用一般均衡モデルを用いて評価している。一方で、小池ら[16] は地域間交易の代替弾力性の評価において課題があると指摘している。

4.4.2　産業施設

産業施設を対象とした場合、間接損失額は操業停止期間を推計した上で、これに固定費を乗じて求めることができる。生産施設の操業停止期間の推計方法は、基本的には、生産工程をシステムとしてモデル化し、システム信頼性の方法を援用してシステムの停止期間を推計する．生産施設を対象とした中村ら[17]、空港施設を対象とした小野ら[18]の研究がある。鳥澤ら[19]は道路網被害によるサプライチェーンの機能停止期間を、東日本大震災を例に評価している。一方、コンビナート施設を対象とした地震リスクマネジメントのガイドライン[20]が出版され、操業停止期間の評価方法が一般化されている。ここでは、同ガイドラインに示されている石油精製施設の事例を紹介する。

図 4 に石油精製施設の配置図を示す。運河を囲み海側に原油・製品タンク類があり、陸上出荷機能は北側に配置されている。プロセスはユニット PR01～PR04 にて行なわれ、主に陸側に配置されている。

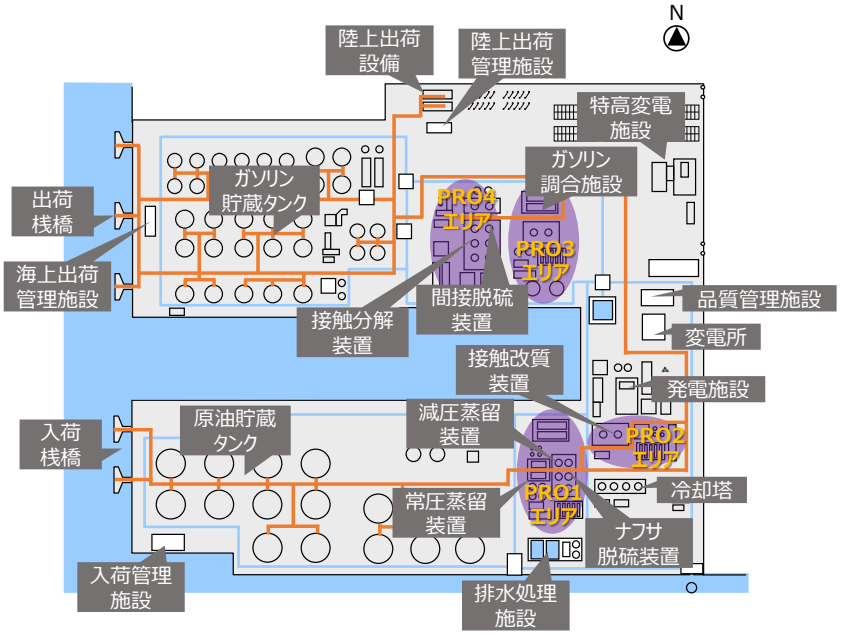


図 4　石油精製施設の配置図

当該施設ではガソリン、灯油、重油、軽油、ナフサ、ブタン、プロパンなどの石油製品を生産しているが、ここではガソリンの生産に的を絞り、その生産工程をシステムとしてモデル化する。これを図 5 に示す。図の記号はシステムの構成要素を表し、表 2 の対応表により、図 4 の配置図の装置や Utility と対応させている。

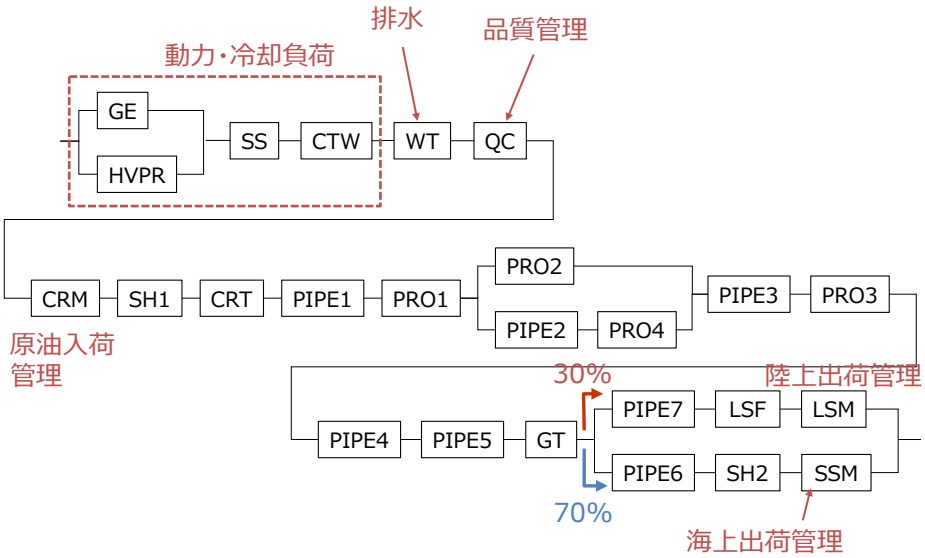


図 5　ガソリン生産のシステムモデル

表 2　構成要素と主な施設

ユニット名	主な施設
SH1	入荷桟橋、護岸、移送配管
CRT	原油タンク
CRM	入荷管理施設
PIPE1	移送配管
PRO1	製造エリアPRO1
PRO2	製造エリアPRO2
WT	排水処理施設
CTW	冷却塔
PIPE2	移送配管
GE	発電施設
SS	変電所
QC	品質管理施設
HVPR	特高受電施設

ユニット名	主な施設
PIPE3	移送配管
PIPE4	移送配管
PRO3	製造エリアPRO3
PRO4	製造エリアPRO4
PIPE5	移送配管
GT	ガソリンタンク
PIPE6	移送配管
SH2	出荷桟橋、護岸、移送配管
SSM	海上出荷管理施設
PIPE7	移送配管
LSF	陸上出荷場、移送配管
LSM	陸上出荷管理施設

各構成要素の耐震性能（Fragility Curve）を評価し、図 5 のシステムとしての機能低下、ならびに停止期間をシステム信頼性の方法に則り、計算すると、図 6 に示す復旧曲線を求めることができる。同曲線は上町断層帯地震が発生したケースであり、横軸は発災からの時間、縦軸は復旧率でガソリンの通常時の出荷量を 1.0 に基準化している。図には現状の復旧曲線と護岸背後地盤の改良(SH1 のみ)と PRO1 に位置するファーネス(タワー型)の耐震補強を実施した場合の復旧曲線を併記している。また、30%陸上出荷、70%が海上出荷であり、図より陸上出荷の方が早期に復旧することが分る。また、現状と耐震補強後の復旧曲線を比較することで、対策の効果を確認できる。

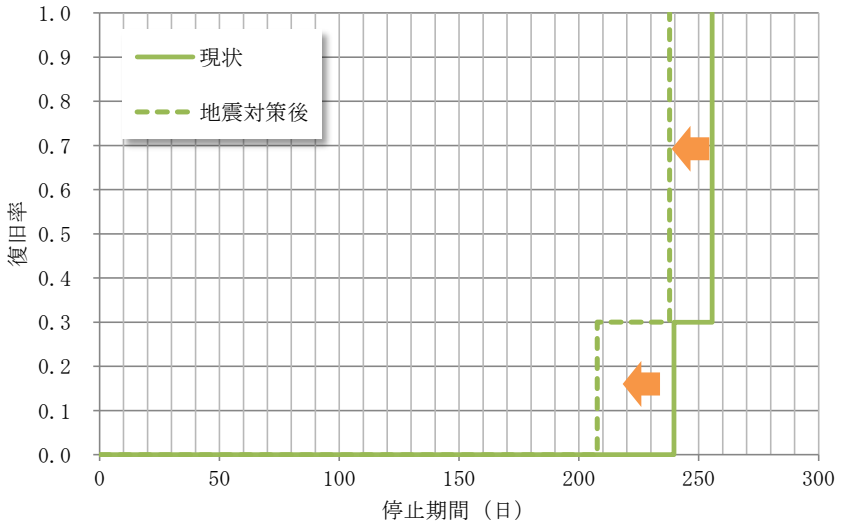


図 6　現状と耐震補強後の復旧曲線の比較

一方、対策による復旧の早期化は、企業の間接損失額を低下させる。対策によっては、直接損失額（財物損失額）も軽減する効果がある。また、製油所の機能停止に起因して

発生する経済損失額を評価した山崎ら[14]の方法に、製油所の復旧曲線を適用すれば、製油所被災による経済損失額への影響を、精度良く評価できると考える。また、復旧曲線は産業施設のレジリエンスを記述する有効な手段と考える。

4.5　事例解析　～京浜地区を対象として～

4.5.1　経済的影響評価の概要

地震による港湾機能の停止は、我が国の経済に大きな影響を及ぼすため、この影響を事前に定量的に予測しておくことは重要である。ここでは、地震による京浜コンビナート地区のタンク被害に着目し、油の海域への流失量を評価、これによる港湾・航路の閉塞日数を求めた上で、経済損失額を評価した。

油の海域への流失量は、タンク被害を確率的に評価し、その期待値とした。また、経済損失額の評価は、産業連関表を使い、東京湾に所在する各港湾の輸出入による生産誘発額を求め、これに港湾・航路の閉塞日数を乗じて求めた。図 7 に評価のフローを示す。表に示すように、夏季に地震が発生した場合は 1.46 兆円、冬季の場合は 2.07 兆円となった。

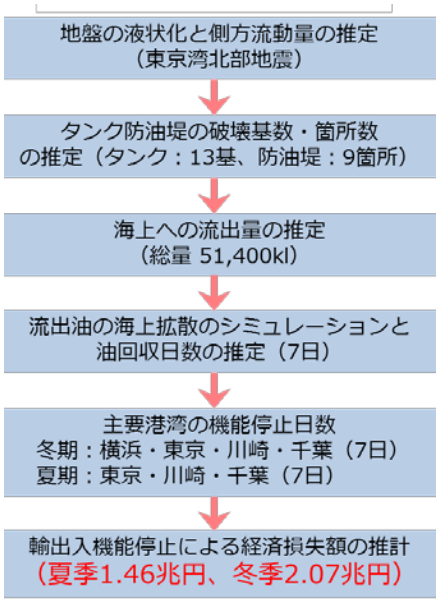


図 7　経済損失額の評価のフロー

4.5.2　評価対象施設とシナリオ地震

評価対象は、図 8 に示す川崎地区における人工島（浮島、千鳥、水江、東扇島、扇島）に所在するタンクの内、コーンルーフタンクと浮屋根タンクとした。油の海域への流出を考慮するため、護岸からの距離が 100m 以内に位置するタンクを対象とした。評価対象のタンク基数を表 1 に示す。水江１５基、浮島 83 基、東扇島 4 基である。

地震は、東京湾北部地震とし、強震動波形は統計的グリーン関数法により算出した。同地震による川崎市における工学的基盤での最大加速度はおよそ 800Gal である。

図 8　海域への油流出の評価対象地域

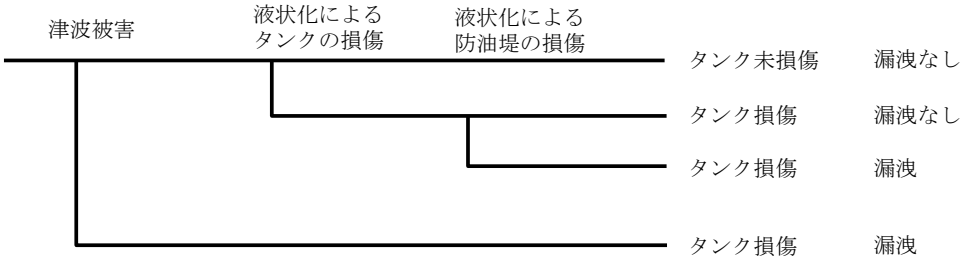
表 1　人工島毎の評価対象タンク基数

人工島	評価対象タンク (護岸から 100m 以内に位置するタンク)	人工島に位置する総タンク数
水江	15 基	81 基
千鳥	0 基	0 基
浮島	83 基	291 基
扇島	0 基	0 基
東扇島	4 基	48 基

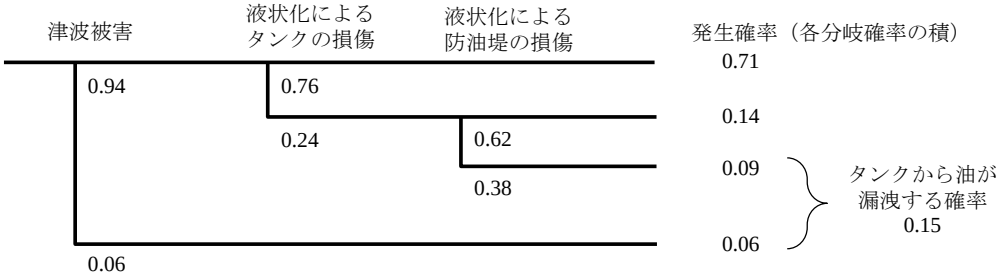
4.5.3　タンク被害と防油堤被害による油流出予測

タンクからの油の漏洩は、揺れによる液状化被害、ならびに津波被害を被害要因とした。これをイベントツリーで表記したものを図 9 に示す。(a)は被害形態と油の漏洩の有無、(b)は油の漏洩確率の例示である。なお、東京湾北部地震では、護岸を超えてタンク類に被害を与えるよう津波は発生しないことから、津波被害は除外している。イベントツリーより、タンクが損傷し、かつ防油堤が損傷した場合に、油が海域へ流出する。

また、液状化被害については、同地震による側方流動解析を行ない、メッシュ毎に水平、鉛直変位量を推計した。



(a) 被害形態と油の漏洩



(b) 油の漏洩確率の例示

図 9　イベントツリーによる油の漏洩確率の評価

タンクの損傷確率は、液状化による各タンク位置での地盤のひずみが 1.5%を超える確率として算定する。その際、地盤のひずみは対数正規分布に従うものとし、対数標準偏差は 0.4 を設定する。また、地盤ひずみは水平ひずみと鉛直ひずみの双方を算出し、どちらか大きい方を採用した。

防油堤の損傷確率は、各タンク位置での地盤の水平変位量が 1.0m を超える確率として算定する。その際、地盤の水平変位量は対数正規分布に従うものとし、対数標準偏差は 0.4 とした。

なお、地盤の水平変位量は次式により算定した。

$$D = e^{-\alpha x} \cdot \Delta \qquad (1)$$

$$\alpha = -0.0007H + 0.0182 \qquad (2)$$

ここに、D は地盤の水平変位量（m）、x は水平変位を予測する地点の護岸からの離間距離（m）、Δ は護岸の水平変位量（m）、H は液状化層厚（m）である。

各タンクの貯油量は、浮屋根式タンクの場合、タンクの直径と航空写真による貯油高さから求めた。コーンルーフタンクはタンク全量の 60%とした。

各人工島（水江、東扇島、浮島）の油の漏洩量を表 2 に、まとめて示す。表には、平均値とともに、最悪ケースとして 90%非超過値も示している。３つの島の合計の漏洩量は 51,400㎥となった。これが全て海上に流出するものとした。

表 2　油の漏洩量の代表値

評価ケース	漏洩量（m^3）の代表値	
	平均値	最悪ケース（90%非超過値）
水江	9,300	17,500
東扇島	3,100	12,700
浮島	39,000	75,700
合計	51,400	89,000

4.5.4　油拡散シミュレーションと港湾機能の停止日数

地震被災時に海上に流出した油により閉鎖される港湾・航路の特定、ならびに油回収日数を評価する。油を回収期間は、港湾機能は停止するものとした。

先ず、冬季と夏季を想定し、油拡散シミュレーションを実施した。油拡散シミュレーションは石油連盟の「流出油拡散・漂流予測モデル」を使用した。油の流出点は浮島の南端とした。表 3 に油拡散シミュレーションの計算条件を示す。(a)が夏季、(b)が冬季である。

表 3　油拡散シミュレーションの計算条件

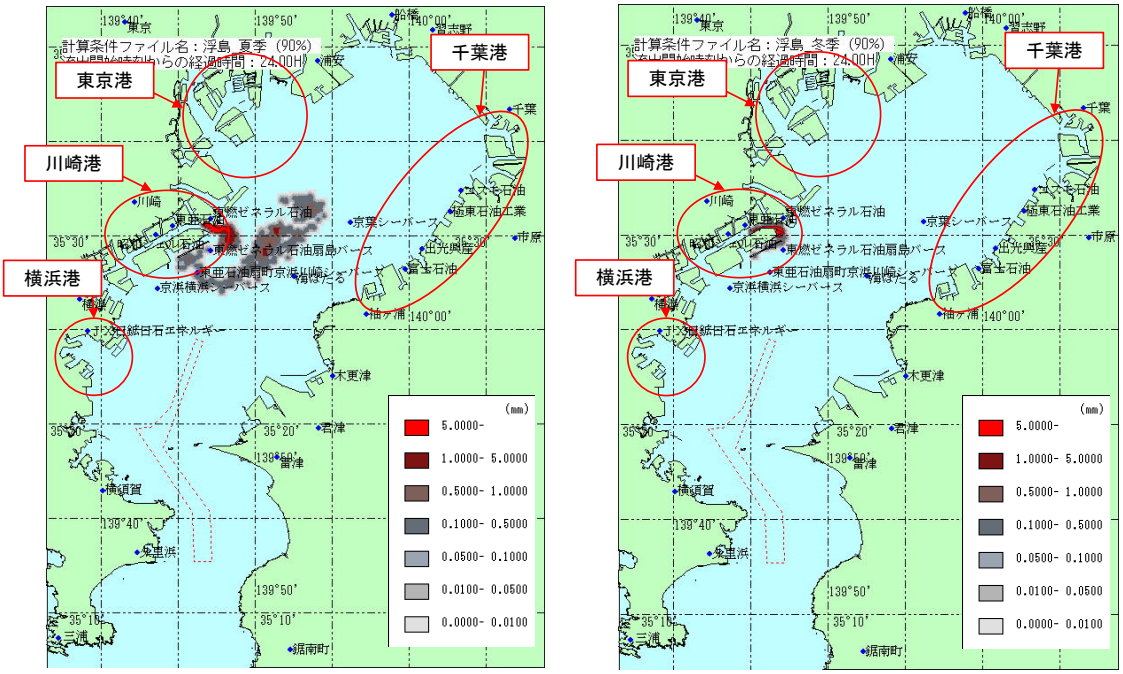
(a)　夏季ケース

項目	条件
風向（風が吹いていくる向き）	SW（南西）
風速	5.0m/s
計算時間	漏洩から 168 時間（7 日間）後まで
漏洩油種	A 重油

(b)　冬季ケース

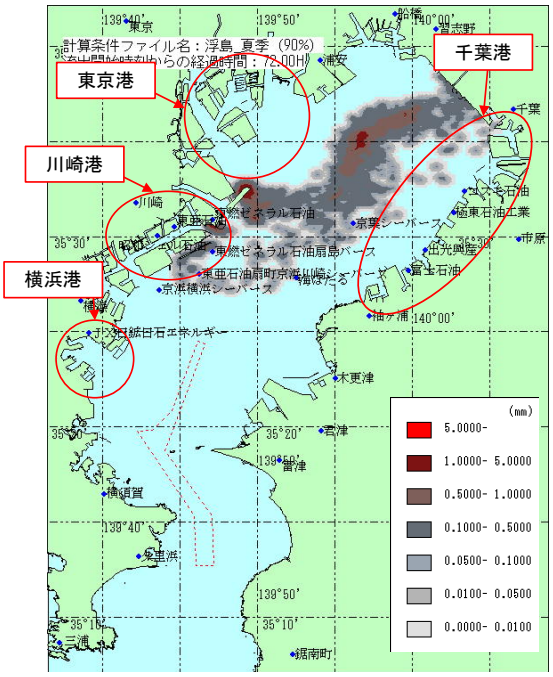
項目	条件
風向（風が吹いていくる向き）	NNE（北北東）
風速	4.0m/s
計算時間	漏洩から 168 時間（7 日間）後まで
漏洩油種	A 重油

図 10～図 12 に、24 時間後、72 時間後、168 時間後それぞれの時点での油拡散シミュレーションの結果（漂流油の油膜厚）を示す。各図とも左段が夏季ケース、右段が冬季ケースである。夏季ケースは南西方向からの風の影響で京葉地区方面に向かって油が漂流し、漏洩後 72 時間後には京葉地区に油が着岸していることが分かる。一方、冬季ケースは北北東からの風の影響により横浜港方面に向かって油が漂流する。夏季ケースと同様に漏洩後 72 時間後には横浜港などに着岸していることが分かる。これらの結果から、夏季ケースでは東京港、千葉港、川崎港が同時に閉鎖され、横浜港のみが使える状態であると仮定する。一方、冬季ケースは中ノ瀬航路に漂流油が存在することから 4 港すべてが同時に閉鎖されると仮定する。

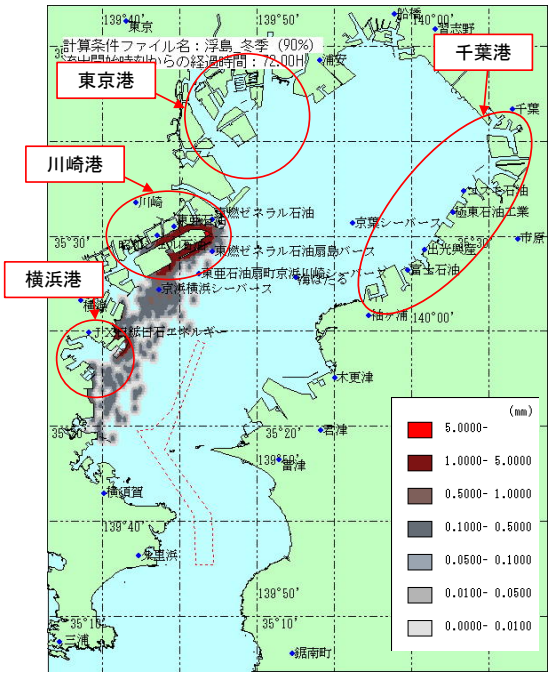


(a)　夏季ケース　　(b)　冬季ケース

図 10　漏洩から 24 時間後の油の拡散（凡例は油膜厚）

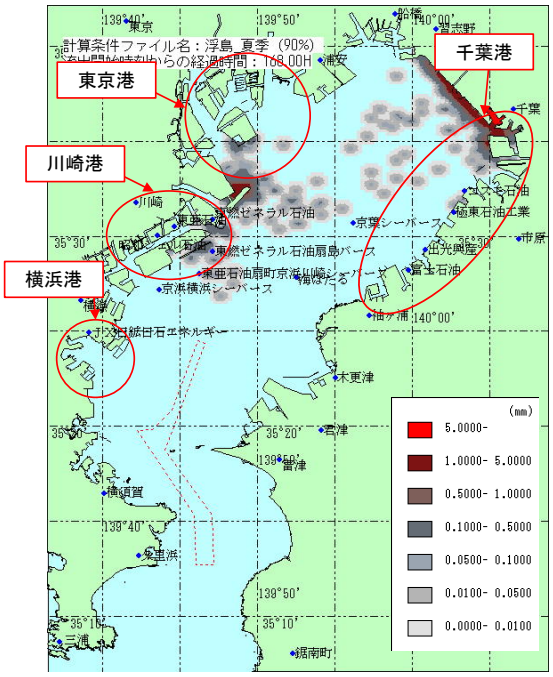


(a)　夏季ケース

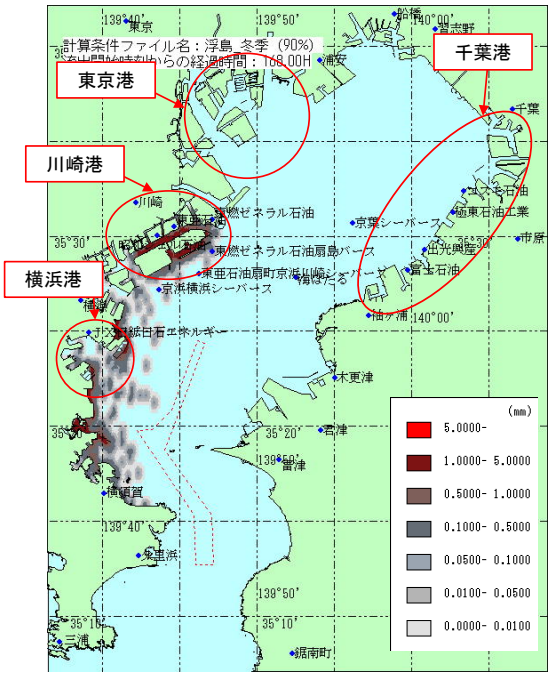


(b)　冬季ケース

図 11　漏洩から 72 時間後の油の拡散（凡例は油膜厚）



(a)　夏季ケース



(b)　冬季ケース

図 12　漏洩から 168 時間後の油の拡散（凡例は油膜厚）

次に、閉鎖された港湾は、油回収船による回収作業が完全に終了するまで再開されないものとする。油回収船は、東京湾の海域に所在する 9 隻（平成 19 年 10 月 1 日現在）に加え、国土交通省中部地方整備局、九州地方整備局にそれぞれ所属する大型浚渫兼油回収船の清龍丸と海翔丸とした。油回収能力は、東京湾海域に所在の 9 隻の合計が 492kl/h、清龍丸と海翔丸はそれぞれ 1,000kl/h である。

表 4 に、油回収船の能力と回収開始までの日数を示す。表の油回収開始時期は、各船の回航ならびに準備時間から設定した。

表 4　油回収船の油回収能力と回航および準備に要する日数

油回収船	油回収能力（kl/h）	油回収開始時期
東京湾海域保有（全 9 隻）	492	流出後 2 日目から
清龍丸（名古屋港）	1,000	流出後 2 日目から
海翔丸（門司港）	1,000	流出後 3 日目から

また、油回収船作業は 1 日 12 時間稼動すると仮定するが、回収した油を仮置き場へ搬送する航行時間を考慮すると、油を回収できる 1 日当りの時間は 4 時間程度となる。

単純な積算計算により、発災後から回収完了まではおよそ 7 日間となる。このため、港湾・航路が閉鎖される日数（停止日数）も 7 日間となる。

4.5.5　輸出入停止による生産誘発額と経済損失額

生産誘発額の評価は、先ず、各港湾の港湾統計および全国輸出入コンテナ貨物流動調査から，輸出入に関する統計データを整理した．これを産業連関表の各部門に再編した上で, 対象とする各港湾の 1 日あたり生産誘発額を求めた。産業連関表は平成 23 年度, 総合大分類 37 部門を用いた。評価の詳細は文献 13）を参照していただきたい。

これより、各港湾の生産誘発額を表 5 にまとめて示す。

表 5　各港湾の生産誘発額（億円／日）

港湾	輸出	輸入	輸出/輸入計
東京港	246	885	1,131
千葉港	131	564	695
横浜港	523	852	1,375
川崎港	105	122	227
合計	1,005	2,423	3,428

港湾・航路が閉鎖される日数（停止日数）7 日間に、表 5 の生産誘発額を乗じ、求めた

経済損失額を表 6 に示す。表には、最悪ケース（90%非超過値）も示している。

経済損失額は、夏季平均値ケースではおよそ 1.44 兆円、冬季平均値ケースではおよそ 2.40 兆円となった。

表 6　停止日数と経済損失額

季節	漏洩量	港湾・航路が閉鎖される日数	経済損失額（兆円）
夏季	平均値	7	1.44
	最悪ケース*	11	2.26
冬季	平均値	7	2.40
	最悪ケース*	11	3.77

4.5.6　護岸の補強対策と費用

京浜地区５島（東扇島、扇島、浮島、千鳥、水江）の護岸の補強に要する費用を試算した。図 13 に、地盤改良ならびに抑止杭工法による補強費用を示す。基本的には地盤改良を主とするが、既設構造物によっては抑止杭工法を採用した。補強費用は 1,893 億円となった。前節で示した経済損失のおよそ 1/10 である。費用対効果は十分あり、経済損失を軽減するための強靭化事業を積極的に進める必要がある。

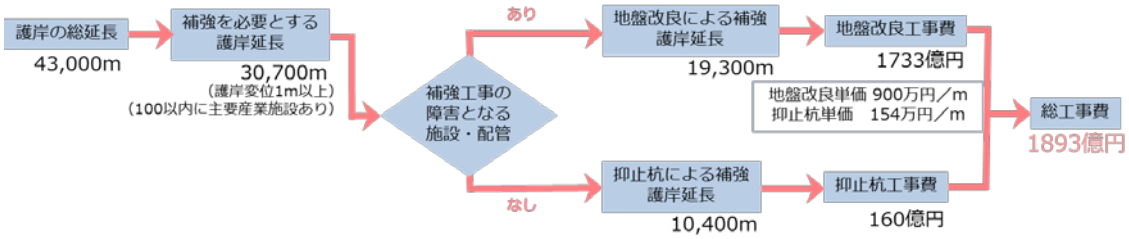


図 13　護岸の補強の方法と費用

4.6　まとめ

自然災害による産業施設の被害予測と社会的影響予測について、特に、予測方法に関する研究動向を調査するとともに、産業施設を対象としたレジリエンスの定量化例を示した。結果を以下のようにまとめることができる。

1）社会的影響を低減するには、早期の復旧・復興を目指すことは言うまでもないが、被災したストックを効率的に復旧し、復興特需の効果を遍く行き渡されることも重要である。

2）産業施設では、逸失利益に比べ、総じて、財物損失額の方が大きく、財物損失額中で

も再調達価格（再建費用）の占める割合が大きい。これは、耐震化対策の重要性を示唆している。

3) 産業施設の被災による直接損失額の推計は、アンケート調査や IR 情報などから推計する方法が主流である。

4) 間接損失額の推計は、アンケート調査による方法、産業連関表による方法、地域間の応用一般均衡モデルによる方法など、概ね 3 つの方法がある。

5) 復旧曲線は、産業施設のレジリエンスを記述する有効な手段であるとともに、社会的影響（間接損失額）を評価する際にも有効である。

6) 経済損失額に比べ補強費用は 1/10 程度である。費用対効果は十分あり、経済損失を軽減するための強靭化事業を積極的に進める必要がある。

参考文献

1) 上野山智也・荒井信幸：巨大災害による経済被害をどう見るか　阪神・淡路大震災、9/11 テロ、ハリケーン・カトリーナを例として，内閣府経済社会総合研究所，ESRI Discussion Paper Series No.177, P.18, 2007.4

2) 鈴木克洋：東日本大震災による我が国経済への影響，経済のプリズム No.91，P.15, 2011.6

3) 豊田利久，河内朗：阪神・淡路大震災による産業被害の推定，国民経済雑誌，第 176 巻 第 2 号, pp.1-15, 1997

4) 中央防災会議：首都直下地震の被害想定と対策について，2013.12

5) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告），2013.3

6) 日本公認会計士協会：東北地方太平洋沖地震による災害に関する監査対応について，会長通牒平成 23 年第 1 号，P.7, 2011.3

7) 中島由貴，中村孝明，望月智也：公共施設運営権設定下の地震リスクマネジメントに関する研究～空港を例として～,国土技術政策総合研究所研究報告, 第 55 号, P.34, 2015.2

8) 古橋隆行，多々納裕一，梶谷義雄，西村泰紀：IR 情報に基づく東日本大震災が東証一部上場企業に与えた被害の分析，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)，2012

9) 松下哲明、秀島栄三：東日本大震災が上場製造業の財務数値に及ぼした影響　BCP とリスクファイナンスの効果，土木学会論文集 F3, Vol.70, No.1, pp.33~43, 2014

10) 中野一慶，多々納裕一，藤見俊夫，梶谷義雄，土屋哲：2004 年新潟県中越地震における産業部門の経済被害推計に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.24,No.2, pp.289-298, 2007.9

11) 高島正典，林春男：電力消費量時系列データを利用した復旧・復興状況の定量的把

握手法－阪神・淡路大震災への適用－，自然災害科学, 18(3), pp.355-367, 1999
12) 芦屋恒憲，地主梅樹：震災と被災地産業構造の変化－被災地域産業連関表の推定と応用，国民経済雑誌，第 183 巻 第 1 号, pp.79-97, 2001.1
13) 望月智也，松本俊明，中村孝明，濱田政則：地震に伴う港湾機能停止による経済損失額の評価，地域安全学会梗概集 No.40, pp.31-34, 2007
14) 山崎雅人、小池淳司、曽根好徳：南海トラフ巨大地震による製油所被災の経済被害推計　多地域応用一般均衡モデルによる分析、土木学会論文集 D3, Vol.72, No.5, PP.I-111~I-121, 2016
15) 船瀬悠太、多々納裕一、土屋哲：港湾の機能停止の国際経済への影響分析手法　空間的応用一般均衡アプローチ，土木学会論文集 D3, Vol.67, No.5, PP.I-243~I-254, 2011
16) 小池淳司, 伊藤佳祐, 中尾拓也：地域間交易の代替弾力性の推定, 土木学会論文主 D3（土木計画学）, Vol.68, No.5（土木計画額研究・論文集第 29 巻）,I_55-I_61, 2012.
17) 中村孝明，境茂樹，吉川弘道：損傷相関を考慮した地震時システム性能評価に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 76 巻，第 661 号，pp.713-719,2011.3
18) 小野正博・中島由貴・中村孝明・静間俊郎：空港の性能維持・早期復旧に関する地震リスクマネジメント、国土技術政策総合研究所資料、No.830, P41,2015.3
19) 鳥澤一晃，吉田聡，佐土原聡：サプライチェーンの BCP のための道路網被害予測と事業継続への影響評価，日本地震工学会論文集　第 14 巻，第 2 号, pp.84-103, 2014
20) コンビナート施設の地震リスクマネジメント研究会：臨海部コンビナート施設の地震リスクマネジメントガイドライン，早稲田大学安全研究所,一般財団法人 産業施設防災技術調査会, pp.付 4-付 24, 2016.3
21) 石油連盟: 「流出油拡散・漂流予測モデル」簡易操作版（日本沿岸海域）ユーザーズ・マニュアル, 平成 27 年 3 月. http://www.pcs.gr.jp/p-chousa/index1.html
22) 臨海部の地震被災影響検討委員会: 臨海部の地震被災影響検討委員会報告書, 平成 21 年 3 月.
23) 海上保安庁：東京湾排出油等防除計画，http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/keikyu/kankyou/index.html

５．臨海産業・エネルギー施設強じん化の現状とその効果および課題
（アンケート調査に基づいて）

5.1　はじめに

臨海産業・エネルギー施設のレジリエンスを確保するための有効な手法として BCP（Business Continuity Plan：事業継続計画）が様々な機関、業界で策定され、事業中断による様々なリスクを軽減するための具体的な強じん化事業も実施されている。

中央防災会議では、H27 年度までに大企業の全てと中小企業の半数以上において BCP が策定されることを目標とし、H17.10 に事業継続ガイドライン第 1 版を作成した。そしてそれ以降以下に一例を示すような BCP 策定指針等が、国レベルから県レベル、市町村あるいは業界団体等から示され、それぞれの機関、業界の特徴を反映した BCP が策定されている。

・事業継続ガイドライン第 3 版 H25.8　内閣府　防災担当
・中小企業 BCP 策定運用指針　第 2 版　H24.3　経済産業省中小企業庁
・東京都業務継続計画改定版　H29.12 東京都
・青森県国土強じん化地域計画 H29.3　青森県
・川崎市国土強じん化地域計画 H28.3　川崎市
・建設 BCP ガイドライン第 4 版　H27.2　日本建設業連合会
・福祉施設経営における事業継続計画ガイドライン【地震対策編】
　✧　H21.3　全国社会福祉施設経営者協議会
・事業継続計画書策定支援ツール　H25.10 日本港運協会
・BCP ガイドライン　H25.3　日本自動車部品工業会

そして、これらの機関では関係している業界、企業、団体における BCP の策定、実施状況について定期的にとりまとめを行っており、その結果概要は適宜公表されている。例えば；

・平成 27 年度企業の事業継続及び防災の取組に関する実態調査
　H28.3　内閣府・防災担当
・平成 27 年度石油産業体制等調査研究
（石油業界における災害時対応訓練の実効性確保等に関する調査）報告書
　H28.3　富士通総研
・H27 製造基盤技術実態等調査（地域における製造業のレジリエンス能力実態調査）
　H28.2　事業継続推進機構
・災害時石油供給の円滑化に向けた取組　H28.2　資源エネルギー庁

・石油の緊急時供給体制に係る課題への対応について

H26.5　資源エネルギー庁

・関東圏のエネルギー基盤の強じん化に向けて　　H26.2　関東経済産業局

・平成 22 年度 我が国機械産業の BCP（事業継続計画）のあり方に関する調査研究報告書

H23.3　社団法人　日本機械工業連合会

などである。

ここではこうした取組みが実際どのような状況にあり、BCP が単に一企業、一組織のレジリエンス確保に寄与するだけでなく、コンビナートのようなより大きな単位でのレジリエンスの一部を成すものとして捉えた場合、

- レジリエンスの達成目標に対しどこまで迫っているのか？
- レジリエンス確保を考えるに当たって基本的でありながら対応の取られていない課題はないのか？

などを明らかにすることを目的に様々な業界の BCP への取組み状況についてアンケート調査を行った。

5.2　企業全般における BCP への取組み状況

様々な機関、団体による BCP 策定、運用の現状については、上述のように様々な情報が公開されているが、ここでは帝国データバンクが 2016 年 6 月に調査を実施した一般的な企業における BCP に対する意識調査結果をもとに企業全般における BCP への取組み状況について示す。

調査対象は全国 23,606 社を対象に行われ、有効回答は 10,471 社（44.4%）であった。その結果は以下のようにまとめられる。

- BCP の対象とする災害は、地震（51.8%）、火災（19.5%）、水害（7.7%）などの自然災害が犯罪（5.6%）伝染病（3.4%）などを大きく上回っている。
- 地震を特に意識している企業の割合は、高知県（80.0%）、静岡県（71.6%）、和歌山県（70.2%）、愛媛県（66.1%）、東京都（65.4%）となっており、東南海・南海トラフ地震や首都圏直下地震などの大規模災害が想定されている地域で高い。
- BCP の策定については、「策定している」が 15.5%、「策定中」、「策定を検討中」を合わせても半数に満たない。すなわち BCP 策定が進んでいないのが実情。
- BCP を「策定している」割合の高い業界は、金融が 44.9%と高く、次いで農林

水産が 22.4%。サービス（18.9%）、運輸倉庫（17.6%）、製造（16.4%）など業界間で大きく異なる。

- 企業規模でみると従業員 1,000 人以上では 56.6%と、半数以上が BCP を策定しているのに対し、51～100 人では 19.9%、21～50 人では 12.2%と中小企業での対応が遅れている。
- 策定できていない企業からは、策定したくともノウハウや人員が足りないといった指摘があった。
- 大規模地震への対応は、「設備の転倒防止」が全体で 33.7%（複数回答）と最多。次いで「食糧の備蓄」、「災害用損害保険への加入」。ただし大企業では「避難訓練（46.8%）」、「食糧の備蓄（45.7%）」など中小企業などを大きく上回っている。

このように BCP の策定はまだ道半ばであり、業界間、企業規模間での差が大きい現状が指摘されている。このような場合、大規模災害発生時、大企業が BCP により早期にその機能を回復できたとしても、大企業に部品や素材、エネルギーなどを供給している中小企業の回復が遅れ、結果的にある分野でのレジリエンスが確保できていなかったことになる。すなわち組織単位のレジリエンスだけではなく、機能単位でのレジリエンスも同時に確保していくことが肝要となる。

5.3　アンケート結果

今回実施したアンケートは、添付資料に示すとおりである。このアンケートは一つの業界、各事業者における BCP の策定状況を問うものではなく、コンビナートを構成する石油精製、石油化学、製鉄、電力などの素材産業、エネルギー供給産業の BCP 策定における課題を明らかにした上で、コンビナートあるいは事業者を含む地域のレジリエンスを念頭に置いた場合の今後の BCP 策定とその実効性の評価、レジリエンスの確保がどこまで進んでいるのかを評価することを目的とした。

アンケートは以下の業界団体に送付し、協力を仰いだ。

- 石油連盟
- 石油化学工業会
- 一般社団法人日本化学工業会
- 日本 LP ガス協会
- 一般社団法人日本産業・医療ガス協会
- 一般社団法人日本鉄鋼連盟
- 一般社団法人日本ガス協会
- 電気事業連合会

その結果、石油連盟からは製油所保有 9 社の状況をまとめて回答いただいた。また石油化学工業会からは加盟会社の内 4 社から、電気事業連合会からは加盟会社の内 1 社から回答を頂いた。その他の団体については、「協会の内容と合わない」、「回答するだけの情報を持っていない」、「団体としての回答は出来ない」などにより回答は得られなかった。

アンケートの目的に対する理解を事前に得ることが十分でなかったこと、回答までの時間が短かったこと、などアンケート側の問題もあったと考えられるが、一方で、業界団体という単位での BCP への取組みのレベルが必ずしも揃っていないことも伺われる。

以下では、アンケート結果の回答の中から今後の強じん化事業の進め方に関係すると考えられる設問に対する回答の概要を示し、現在の強じん化事業の課題を探る。

【アンケート回答の概要】

Q7. BCP 策定、運用において関係している他業界、他事業者、地域（地元自治体、公共機関など）はありますか？ある場合は、そのような連携を想定していますか？また、どのような情報を共有していますか？共有している場合は、その内容を、共有していない場合は、その理由を示してください。

- 石油各社は製油所から系列 SS 等における最終消費者への供給に至るまでの系列サプライチェーン全体での協力体制の強化等により災害時の石油製品サプライチェーン全体の業務継続・早期復旧に備えるという方針の下、系列供給網全体の BCP（系列 BCP）を策定している。
- 連携例としては、他社からの石油製品の融通についての協議、運送会社とは車両や要員（運転手など）などの情報共有、特約店（ＳＳ）とは、被害状況、営業状況、支援の要否などの情報共有、自治体、公共機関とは工業用水の供給状況、周辺道路の被害状況などの情報収集など。
- 他の事業者も、自社の事業に関わる関係者との情報共有を行った上で BCP を策定し、策定後は自治体、公共機関あるいはコンビナートを構成する他社との情報共有を進めている、あるいはそれが必要と理解している。しかし訓練においては具体的にそこまで対応していないなど、連携については未だ十分とは言えない。

Q8. BCP における課題（BCP を策定していない場合は、今後対応が必要と思われる課題）　・強じん化対策が進まない要因があれば示してください。

- 強じん化のための工事は、設備を停止して行うことは出来ないため実施が困難な場合がある。

- 補助金はあるものの、予算の制約があり、対策も制約される。
- 補助金がない場合、企業単独での対応には限界がある。
- 護岸、堤防が公有であるため、対応できない場合がある。
- 対策実施に伴い、対象施設以外の様々な設備投資や生産への影響をともない場合がある。例えば、シーバースの離散設備としてクイックリリースシステムは有効であるが、これに対応したローディングアームへの改造、場合によっては桟橋そのものの補強も必要となり、費用大となるため対策が限定される。
- 津波による浸水は復旧を長期化させるが、対策は高コストであり、限定される。
- 液状化対策は高コストであり、企業単独での対応には限界がある。

Q10. BCP に基づく強じん化に当たっては、相応の費用負担が生じますが、費用負担についてどうお考えですか？

- 事業継続に必要な経費として一定の水準はやむを得ない。としている一方、収支に及ぼす影響は大きく、本来の投資計画に影響しており、強じん化の加速のためには公的な助成が必要である。
- 国や自治体の強じん化事業と企業の BCP が必ずしもマッチしていない。河川事業と海岸事業の縦割り行政の解消や、国や自治体が行う対策に企業も参画し企業の要望にも配慮した官民合同事業制度などを設け、トータルとしての強じん化事業の効率化が必要。

Q11. BCP に基づく強じん化に当たって行政等からの補助金を活用していますか？
活用している場合は補助金の内容を、活用していない場合はその理由を示して下さい。

- 平成 26 年度より経産省の石油供給インフラ強じん化事業補助を活用。
- 補助金の活用を考えたいが、対策は数年先、また複数年の工期のものが多く、現時点で未活用。

Q12. 今後の強じん化事業の展開について行政への要望事項があれば記載してください。

- 強じん化事業に対する補助金予算の確保を要望。
- 港湾計画、道路計画などの物流施設整備事業の速やかな実施。
- BCP 投資に対する助成の拡充。
- 素材産業の工場は臨海部に位置し、電力会社と同レベルの設備を有しているおり、耐震・津波対策に多額の費用を要する。また、設備老朽化対策も必要であり、設

備信頼性向上も含めた支援事業をお願いしたい。

- 国の補助金制度は事業者に取り強じん化策を進める大きなドライビングフォースとなるので、事業者側の利便性を考慮した制度を構築してほしい。
- 強じん化については石油・エネルギー等のインフラ要素も重要であるが、サプライチェーン維持、強化の観点からの BCP についても助成等をお願いしたい。

Q13. 学会への要望、意見等があれば示してください。

- 「国家的レジリエンス」だけではなく、各分科会の連携により「全地域的レジリエンス」についても検討していただきたい。
- 防災、減災に関する研究、検討は多くの研究機関で実施されているが、企業中心でもよいので早期復旧/覆工の視点での対策についての検討も実施していただきたい。

以上の回答から伺える現在の状況を要約すると；

① 企業レベルでは、関係省庁の指導もあり BCP の策定はかなり進んでいる。
② 特に石油精製各社では、公的補助を活用し設備の強じん化が着実に行われている。また、サプライチェーンも含めた BCP の策定も進められている。
③ 課題は BCP で要求される強じん化に要する費用をどうするかにある。
④ 公的助成は不可欠である。
⑤ コンビナートでは河川、海岸への対応が重要となるが、縦割り行政の弊害で対応が困難な場合がある。
⑥ 企業単独ではなくコンビナートとしてみると強じん化のレベルが必ずしも揃っていない。また、他事業者、他業界、地域などとの連携については未だ十分とは言えない。

等となり、コンビナートとしてのレジリエンスの向上は、まだ道半ばと言えよう。

5.4 BCP 取組み事例

アンケートの結果から、石油精製業界での BCP への取組みが最も進んでいることが伺われる。そこで石油精製業界の BCP への取組み状況について紹介し、問題点を探る。石油精製業界では、現在「強じん化事業」と「BCP 格付け」が実施されている。

「強じん化事業」:

正式には「石油供給構造高度化事業費補助金（石油コンビナートの生産性向上及び強

じん化推進事業のうち石油供給インフラ強じん化事業)」は、2011 年の東日本大震災において被災地から政府に寄せられた緊急の物資供給要請のうち約３割がガソリン・灯油等の石油製品であったこと、その用途が病院や避難所の非常用電源の燃料、警察・消防などの災害対応車両等の燃料が中心で、地震や津波により電力、ガスの系統エネルギーが寸断された状況において、石油製品が社会生活を支えるエネルギーの最後のとりでとなることが再認識されたことから、将来予想される首都直下型地震や南海トラフ地震等が引き起こすであろう未曾有の危機においても、エネルギー安定供給や地域の経済・雇用を支える石油コンビナートが、国内のエネルギー供給を継続できることを目指し、実施されているものである。

他方、東日本大震災では被災地にある一部製油所が長期に稼働を停止したため、被災地への供給力が制限され、被災地における社会生活や復旧活動に影響が出るなど、石油精製施設の脆弱性も明らかになった。

こうした東日本大震災における知見から資源エネルギー庁では、石油企業各社に対し、どのような災害が起きたとしても、石油製品の供給能力を被災後 24 時間以内に平常時の２分の１まで回復するという目標の設定し、その実現に向けた計画の策定と具体的な対応を要請している。そして、この早期回復目標を実現するために必要な投資の 2/3 を補助するのが強じん化事業である。

強じん化事業では、特に企業が自発的に取組むことが困難な、平常時には使わない船からの石油製品受け入れ用配管の新設など、災害時の出荷能力の強化であるとか、桟橋など、出入荷エリアの耐震・液状化対策、あるいは精製設備の安全停止装置の導入といった、早期供給能力回復のために必要な被害の最小化・二次被害の拡大防止などを目標とした事業も支援対象としている。

ただし強じん化事業では、災害時に早期に供給能力が回復するという目標の達成に必要であり、かつ、製油所等の施設に対して適用されている消防法や高圧ガス保安法等で設定されている法定基準を上回り、未曾有の大災害に耐え得る強度まで高める工事、または平時には使用せず、災害時に活用することが想定されるものに限定して、補助対象としている。すなわち石油精製施設（オンサイト設備）の強じん化は対象外であり、BCP の観点からのオンサイト設備の強じん化は、各社が独自に取組むしかない。

H26 年度から開始された強じん化事業では、H29 年度までに予算規模で 600 億円を超える額が投入されており、安全停止のための機器、設備の改良・新設、配管関係の耐震化、消防設備の耐震化、各種機器、設備の運用のための建屋の耐震化等が着実に進められてきている。強じん化事業は H31 までの後 2 年で終了するが、石油精製各社の BCP に基づく計画では、それまでに供給能力の早期回復に必要な主要機器、設備の強靭化が進むとされている。

ここで懸念されるのは、こうして実施された強じん化が実際にどれほどの性能向上を果たしているかが、現時点では評価されていないことである。もちろん強じん化計画は、

各社において多くの時間と費用を費やして実施された調査、検討の結果に基づくものであり、実際に強じん化の対象とされた機器、設備等のそれぞれの耐震性能、あるいは耐津波性能の向上は明らかである。

しかし、供給能力の早期回復は、それを構成する様々なハード（多種多様な機器、設備）のみならず、それを運用するソフト（人員、システムソフト、ハードソフトを含むすべての構成要素の維持管理など）の両者が発災時に機能しなければ達成することは出来ない。したがって、現在実施されている補助事業で目標とする性能向上がどこまで達成されているのか？残されている課題は何か？などを客観的に評価し、将来にわたる強じん化事業の在り方を明確にする必要があると思われる。

もう一つの懸念される問題は、公的補助を得て格段に向上した耐震性能を持つ大規模かつ複雑な供給施設の維持管理である。

いつ起こるか判らない、ただしいつか必ず起こる巨大災害に対する高い性能をシステムの全ての構成要素において維持するには、現状の施設に対する維持管理とは比較できないほどの労力と費用を必要とすると思われる。この性能維持をどう継続していくのか？公的補助なしで事業者独自で続けていけるのか？などについて検討する必要があると思われる。

「BCP 格付け」:

正式には「石油産業体制等調査研究（石油業界における災害時対応訓練の実効性確保等に関する調査）」は、強じん化事業と同じく資源エネルギー庁が実施しているもので、石油会社に対し、各社の既存の BCP を、運送会社やＳＳ等系列供給網全体を包含する「系列ＢＣＰ」へと見直すことを求めている。具体的には H25 年度より、「系列ＢＣＰ格付け審査委員会」を設置し、「系列ＢＣＰ」の内容とその実効性について審査を開始している。そして審査結果を補助金交付審査時の審査項目の一つとして活用し、改善へのインセンティブとしている。

その審査内容は、H28 年度の「BCP 格付け」報告書（H29.3　富士通総研）によれば、本社機能、製油所の入出荷機、石油製品の受注・配送機能、バックアップ機能、系列 SS の販売機能の確保などに関連し以下の 18 項目を設定し、各社の取組状況を評価している。そして、これらの評価項目に対する各社の取組状況を表 5.4.1 に示す 4 段階の評価基準で実施し、各個別項目の評価結果を表 5.4.2 の基準で総合評価している。

1. 供給回復目標
2. 本社機能確保
3. 安否情報の収集
4. 製油所の被害情報、在庫情報の情報収集
5. 製油所の周辺インフラ（道路、港湾）の情報収集

6. 被災した製油所の支援
7. 受注・配車業務の維持
8. 増産計画の策定
9. タンクローリーの確保
10. ドラム缶輸送の確保
11. 石油製品の配船の手配
12. 他社又は海外からの石油製品の調達
13. ＳＳの営業状況の情報収集
14. ＳＳの営業の応援支援
15. ＳＳの復旧支援
16. 装置や設備の安全確認を行い、被害情報、在庫情報を収集し、本社等へ報告
17. 製油所の周辺インフラ（道路、港湾）の情報収集
18. 製油所の早期復旧

表5.4.1　個別項目の評価基準

優	特に優れた取組（特に周到な準備や創意工夫が備わったもの）
良	優れた取組
可	最低限のレベルは満たしている取組
不可	最低限のレベルを満たしていない取組

表5.4.2　総合評価の評価基準

S	個別項目の評価が「優」のみ。
A+	個別項目の評価のうち、「優」が全体の5割以上を占め（供給回復目標は「優」）、かつ「可」も「不可」もない。
A	個別項目の評価のうち、「優」と「良」の合計が全体の5割以上を占め（「優」のみで5割以上のケースを除く。供給回復目標は「優」か「良」）、かつ「不可」がない。
B+	個別項目の評価のうち、「優」と「良」の合計が5割未満だが一つ以上あり、かつ「不可」がない。
B	個別項目の評価が「可」のみ。
C	個別項目の評価のうち、一つでも「不可」がある。

その結果については、「総合資源エネルギー調査会 資源・燃料分科会　報告書 H29.6」の中で以下のように述べられている。

2.　調達・転換・流通・公益的対応（石油・天然ガス・石炭・鉱物資源・地熱資源）

【１】石油

（３）災害対策の更なる強化

ｉ）「中間論点整理」で示した論点

昨年の熊本地震では、東日本大震災の反省を踏まえて整備してきた「災害時石油供給連携計画」（石油備蓄法）や、「系列 BCP」（業務継続計画）に則った対応が実施され、政府・自治体・石油元売り業界・石油販売業界の密接な連携の下、製油所・油槽所・SS 等の石油供給インフラの被災状況把握、被災地からの緊急石油要請への対応、被災地からの要請を待たずに実施するプッシュ型支援、石油供給網の回復等が、総じて円滑に実施された。

他方、ＳＳの営業状況や在庫状況の確認及びその周知、自家発電機を備えた地域住民の拠点ＳＳの整備、タンクローリーの緊急通行車両扱いの徹底、長大・水底トンネル通行のルール整備等、自治体・病院・通信・放送等の重要インフラ側での事前準備の強化、電源車向けの石油供給にかかる電力業界・石油業界の連携強化等の新たな課題も認識され、これらへの対応が今後必要であることを提起した。

以上のように石油業界においては、強じん化事業＝ハード（機器、設備の耐震化）対応と格付け＝ソフト（BCP 訓練の実効性確保）対応が経産省（資源エネルギー庁）の指導の下順調に実施され、しかもハード対策については資金補助が並行して行われており、他の業界にない充実度と言える。

実際、上述の総合資源エネルギー調査会の報告によると熊本地震では BCP 策定とそれに基づく訓練の成果が具体的に表れており、レジリエンス向上をハード、ソフト両面から進めることにより確実にその効果が表れていることが判る。

一方で、こうした取り組みを継続的に進めていく中で、レジリエンス確保に関わる様々な課題も明らかになってきており、それらを着実に解決するとともに業界内、地域内での連携をより深度化していくような将来にわたる継続的な対応は不可欠である

5.5　今後の課題

臨海産業・エネルギー施設（コンビナート）のレジリエンス向上への取組みは、関係者の努力により着実に進められている。一方で、具体的な強じん化のための工事や BCP 策定や策定後の実効性確認のための訓練を行う中で様々な課題も明らかになってきている。

【補助制度】

課題の第一は、強じん化に伴う莫大な費用をどう賄うかにある。まだ強じん化に関連した耐震性の評価技術には解決すべき問題が残されており、これらを解決することは勿

論であるが、何よりも強靭化に取り組んでいる様々な企業、組織に対する補助制度の新設、拡充は強じん化の実現に不可欠である。

【費用の最適化】

強じん化で求められている耐震性能は、これまでの知見に基づいて想定された最大級の地震・津波を対象としたものであり、施設を構成しているすべての構造物(土木、建築、港湾、河川など)や設備・機器が損傷を受けることが無いようにすることは余りにも莫大な費用と労力を要し、現実的ではない。そこで求められるのは、ある機能を持つシステムの構成要素が地震により損傷した場合の組織やシステム機能への影響の大きさを評価し、その影響の大きい（すなわちリスクの大きい）ものから対策を講じていくことである。この場合、「損傷を受けないように強くする」（防災）だけではなく、「ある程度の損傷を許容するが、短期間で修復できるようにする」あるいは「損傷は避けられないが、すぐに代替措置ができるようにする」などの減災対策をリスクの大きさとその内容に応じ組み合わせることも重要である。すなわち、リスクの評価とそれに基づく最適コストの評価が重要となる。

【技術基準の統一】

こうした強じん化のための対策を検討するに当たっては、個々の構造物や設備・機器の耐震性、それらから構成されるシステムの耐震性を評価する必要がある。ここで一つ問題なのが、こうしたシステムの耐震性評価において用いられる耐震設計技術が、構造物(土木、建築、港湾、河川など)や設備・機器（機械、電機、ガス、配管、タンクなど）のそれぞれで必ずしも統一されていないことである。

技術基準の違いは最終的には不十分な性能評価や費用の増加につながるため、縦割り組織の壁を乗り越えた連携の下、様々な耐震設計技術の統一を早急に行う必要がある。

【性能の維持】

強じん化により高い耐震性を付与された設備・機器や BCP により設定された非常時対応組織が、今後永続的にその性能を維持するためには、企業や、組織の通常の維持管理以外の対応が必要とされる。これに必要とされる費用や人材をどうするのかの議論も必要である。

【組織の集合体、地域などを対象とした BCP】

国レベルのレジリエンスを議論するためには、BCP についてもこれまでの組織単体での対応から業界、地域など企業、組織の集合体としての BCP 対応への新たな指導（評価システム）が不可欠である。しかし、多種多様のシステムから構成される企業、企業の集合体であるコンビナートあるいは地域へと耐震性の検討対象を広げて評価する手

法は確立されたものとは言えず、今後の課題として取組むべきである。

今後我が国のレジリエンスを向上させるためには、個々の構造物や設備は勿論、それらから構成される事業所、複数の事業所で構成されるコンビナート、さらにはそれらが立地する地域の巨大災害発生時におけるリスクの評価と、それに基づく効果的（無駄の無い）投資が不可欠であり、これまでの様々な枠組みにとらわれない総合的な防災・減災対策が必要であろう。

【添付資料】　強じん化に関するアンケート

強靭化事業に関するアンケート

御社について教えてください。

御社概要	社名	
	所在地	
ご回答者について	所属・役職	
	ご氏名	
	TEL	
	FAX	
	E-mail	

（回答内容、公表に当たっての確認などで連絡させていただくことがございます。）

当てはまるものに〇をお願いします。

資本金	1.　～1 億円未満 2.　～10 億円未満 3.　～100 億円未満 4.　～1000 億円未満 5.　1000 億円以上
従業員数	1.　1～29 人 2.　30～99 人 3.　100～499 人 4.　500～999 人 5.　1000 人以上
業種 （近いものに〇をお願いします）	1.　石油精製 2.　石油化学 3.　製鉄 4.　電力発電 5.　エネルギー供給 6.　その他（　　）
事業所の展開	1.　本社事業所（工場）のみ 2.　国内に複数拠点あり 3.　国内・海外に複数拠点有

質問事項：

Q1. BCP への取り組み状況

御社の BCP への対応状況について該当するものに○をつけてください。

1. 特に対応していない
2. 防災計画はあるが、BCP は策定していない。(策定中である。)
3. BCP は策定した。
4. BCP を運用し、訓練等により改善を図っている。
5. BCP に基づき設備機器などの耐震化を実施している。
6. 関連する他事業者、地域等との情報の共有化を行っている。
7. 関連する他事業者、地域等との連携した対策を行っている。

Q2. どのような地震・津波を BCP の対象としていますか？

Q3. 主な事業所における想定被害を記載してください。

・事業所内

設備	（生産設備、ユーティリティ等を含めます）
建物	
人員	（BCP 要因の参集、手配等について記載してください）
その他	

・事業所外

エネルギーインフラ	（電気、ガス、工水などについて具体的にお願いします）
情報インフラ	
交通インフラ	
その他	

・その被害想定はどのようにして実施しましたか？

例えば地震リスクマネジメント、耐震解析、関係団体の提示する被害想定など

Q4. BCP で継続すべき事業はなんですか？

Q5. その事業の復旧目標を具体的に記載してください。

Q6. BCP の運用において訓練は重要ですが、計画的に実施していますか？実施している場合はその内容、実施していない場合はその理由を示してください。

Q7. BCP 策定、運用において関係している他業界、他事業者、地域（地元自治体、公共機関など）はありますか？ある場合は、そのような連携を想定していますか？また、どのような情報を共有していますか？共有している場合は、その内容。共有していない場合は、その理由を示してください。

Q8. BCP における課題（BCP を策定していない場合は、今後対応が必要と思われる課題）

・現在の重要な課題を 3 つ以内挙げてください。

1） 2） 3）

・現在具体的に取り組んでいる強靭化対策を 3 つ以内挙げてください。

1） 2） 3）

・強靭化対策が進まない要因があれば示してください。

例えば、適用される基準が異なる、監督官庁ごとに指導内容が異なる、現実的な費用でできる対策工法がないなど。

Q9. BCP を実施することによるメリット・デメリットがあれば示してください。

メリット： デメリット：

Q10. BCP に基づく強靭化に当たっては、相応の費用負担が生じますが、費用負担についてどうお考えですか？

Q11. BCP に基づく強靭化に当たって行政等からの補助金を活用していますか？

活用している場合は補助金の内容を、活用していない場合はその理由を示して下さい。（活用していない場合の理由として、例えば、補助が単年度で対策期間が複数年度にまたがる、対策を行う定修時期が数年先等）

Q12. BCPの推進に関し情報公開を行っていますか？

実施している場合はその内容を、実施していない場合はどのような仕組み（法的な措置、インセンティブ等）があれば、より情報公開が進められるようになるのか示して下さい。

Q12. 今後の強靭化事業の展開について行政への要望事項があれば記載してください。

Q13. 学会への要望、意見等があれば示してください。

Q14. その他なんでも結構です。ご意見があればお願いします。

以上です。ありがとうございました。

６．臨海産業施設の強靭化の現状と課題

6.1　国土強靭化基本法（強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災などに資する国土強靭化基本法）

平成 25 年 12 月、「強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災などに資する国土強靭化基本法防災・減災に資する国土強靭化基本法案」（いわゆる強靭化基本法）が制定された。第 1 章総則に、法律の目的が以下のように記述されている。

国民生活及び国民経済に甚大な影響を及ぼすおそれがある大規模災害など（以下単に「大規模災害など」という。）から国民の生命、身体及び財産を保護し、並びに大規模災害などの国民生活及び国民経済に及ぼす影響が最少となるようにすることの重要性に鑑み、事前防災および減災その他迅速な復旧復興並びに国際競争力の向上に資する大規模災害などに備えた国土の全域にわたる強靭な国づくり（以下「国土強靭化」という。）の推進に関し、基本理念を定め、国などの責務を明らかにし、及び国土強靭化基本計画の策定その他国土強靭化に関する施策の基本となる事項を定めるとともに、国土強靭化推進本部を設置することなどにより、国土強靭化に関する施策を総合的かつ計画的に推進し、もって公共の福祉の確保並びに国民生活の向上及び国民経済の健全な発展に資することを目的とする。

上記の基本法の中で、「国土強靭化」という表現がはじめて公式に用いられることになった。防災の分野ではそれまで余りなじみのない用語であった。社会や経済を災害に対して強く、粘り強いものにするという、どちらかというとソフト分野の防災力に重点を置いた用語として使われている。土木や建築の構造力学の分野では、構造物の強度の他に靭性という用語が用いられている。地震や風など外的事象による外力に対して、構造物が十分な強度を有することに加え、外力が構造物の強度を仮に超えても、容易に破壊しないねばり（靭性）を有することが求められている。この考え方を自然災害に対する社会や経済、国民生活のあり方にまで拡張したのが、“強靭化”と理解している。

自然災害に強いばかりでなく、ねばり強く、かつ早期の復旧・復興が可能な社会を創るというのがねらいである。筆者の記憶によれば、米国の社会学者の 1 人が防災関連の国際会議で“Resilience”という言葉を用いたのが、防災分野ではじめだったと考える。「強靭」を広辞苑で引くと「強くて粘りのあること。しなやかで強いこと」とある。またジーニアス英和辞典によれば“Resilience”は“回復力”、“元気”、“弾性力”などという訳語が見つかる。“Resilience”に“National”をつけて“国土強靭化”したものであるが、筆者には、このような用語が改めて法律の名前になるということに若干の違和感を覚える。

防災分野では、従来から災害発生前の“事前防災”、発災直後の救命活動などの“緊急対応”、災害後の“復旧・復興”のいずれの段階も強化する必要があるという基本方針があった。“National Resilience”、“国土強靭化”の目指す所は同じであると考える。これまで既に一般に用いられた概念を“国土強靭化”という用語に置きかえたものと解釈することが出来る。問題は“国土強靭化”や“National Resilience”が全く新しい概念と受け入れられていることに懸念を持つ。また“Resilience”というような英語をそのまま受け入れて、後述するように国の委員会の名前にまで用いるということには、いささか抵抗感がある。定義がややもすると曖昧な用語を、統一した共通理解もなしに多用することで、議論を発散させ、混乱が生ずるという事態も招きかねない。

内閣府は国土強靭化基本法の成立を受けて“ナショナル・レジリエンス懇談会”を府省連携で組織し、各省庁の防災関係者、学識経験者を交え、国土強靭化に向けて国として取り組む課題を整理した。この中でわが国で、自然災害によって“起こってはならない事象”として以下の 15 の項目を挙げている。

1）建物・交通施設の大規模倒壊と火災
2）大規模津波などによる多数の人命の損失
3）異常気象による都市部の長期的浸水
4）火山噴火、土砂災害による多数の人命の損失
5）情報伝達の不備による多数の死者の発生
6）自衛隊、消防による救助・救急活動の不足
7）被災地への物資供給の長期停止
8）食糧の安定供給の停滞
9）石油・LP ガスサプライチェーンの機能停止
10）サプライチェーンの寸断による国際競争力の低下
11）社会経済活動に必要なエネルギー供給の停止
12）太平洋ベルト地帯の幹線の分断
13）情報通信の長期停止
14）中央省庁の機能不全
15）農地・森林などの荒廃

上記の項目を見ると、確かに将来の自然災害に対してわが国が備えるべく課題がほとんど網羅されている。各省庁が抱える、あるいは既に何らかの施策を行って来た課題が示されている。まさに府省連携と言えないことはないが、問題はどの課題より重点的に取り組むべ

きかがほとんど議論されなかったということである。防災に投資出来る財源が有限であることは明らかである。どの課題に優先的に取り組むかという議論が十分でないと筆者は考える。内閣府は平成 13 年に設置され、行政各部の統一を図るための企画立案、総合調整などを行う行政機関として設置された。しかしながら実際には省庁の政策を“統一する”組織ではなく、単に“調整する”だけの組織になっているのは残念である。わが国の防災対策は各省庁が別個に密接な連携なしに行われているきらいがある。前述したように本報告書の主要目的である“臨海部産業施設の防災性向上”に関しても経済産業省、国土交通省、さらには消防庁、自治体間の連携は十分とは言い難い。各省庁がお互いの政策を尊重し、かつ自己の予算を確保するということは理解出来ないことではないが、それでは効果的、効率的な“国土強靭化”を進めることは出来ない。

国土強靭化基本法の第 2 章に基本方針として以下の 4 項目が挙げられている。

1）人命の保護が最大限に限られること。

2）国家及び社会の重要な機能が致命的な障害を受けないこと。

3）国民の財産および公共施設の被害を最小化すること。

4）迅速な復旧・復興を図ること。

1 番目の基本方針として、将来の災害に対して人名の尊重、人的損害の軽減化を挙げているのは、平成 23 年東北地方太平洋沖地震で、関連死された方を含めて 19,630 名(平成 30 年 3 月 1 日現在)が命を落とされたことを考えれば当然のことである。基本方針の 2 番目に挙げられた、“国家および社会の重要な機能が致命的な障害を受けないこと”、はまさに本報告書で取り上げている臨海部の産業施設の強靭化と直接的に関係している。

臨海産業施設の自然災害による機能損失は、わが国のみならず世界の経済活動に計りしれないほどの打撃を与え、国の存亡にかかわる重大事となる恐れがある。

6.2　経済産業省および国土交通省の施策

経済産業省は国土強靭化基本法の制定と併行する形で、平成 25 年度に「産業エネルギー基盤強靭性確保調査事業」[1)]を実施した。この事業は、平成 23 年東北地方太平洋沖地震により、多くの産業施設に深刻な被害が発生し、国民生活に深刻な影響を及ぼしたこと、さらには産業施設の被害が被災地の復旧・復興活動にも重大な支障を与えたことを教訓として執行された。石油精製事業、石油化学事業および、鉄鋼事業から 24 の事業所を公募により選定し、将来の地震・津波による被害を予測して、産業施設強靭化のための基本方針を策定することが目的であった。

東京湾、伊勢湾、大阪湾など臨海部に位置する産業施設の地盤調査、土質試験、地盤の液状化予測、地震の慣性力や液状化に対する護岸の安定性、液状化地盤の側方流動、長周期地震動によるタンク内容液のスロッシング振動、などの検討が行われた。また、事業所敷地内への津波の遡上の有無、遡上すると判定された場合の浸水領域、浸水深などが検討され、タンク、配管系、桟橋、管理棟建屋および護岸などの被害予測が行われた。全額国庫補助で総額 43 億の国税が投入された。民間の施設に対して、全額国庫補助でこのような事業が行われるのははじめての試みであり、画期的な事業と評価されるが、以下の課題を残したままの事業執行となった。

課題の一つは本事業の対象領域が、東京湾北部地震などの首都直下地震と南海トラフ巨大地震の影響が重大と考えられる地域と限定されたことである。これはこの事業の発足当時、中央防災会議が、この 2 つの地震の発生時期が逼迫していると強い警告を出し続けていたことにもよる。このため、この補助事業の対象領域は首都圏から西日本の太平洋岸となった。唯一、沖縄の石油精製事業所が沖縄県下の石油供給の拠点として重要性が考慮され事業の対象となった。

東北地方太平洋沖地震・津波での地震予知の失敗から、短期間での地震発生予知は不可能であることを地震学分野の研究者や関係者が最近になってようやく認めた。このことを考えれば本事業の対象領域を北海道や東北地方および日本海沿岸地域さらには九州地方にも拡大する必要がある。しかし、一度国家事業の対象として定めた地震や津波を変更することに行政側に強い抵抗感があったと考えられる。

本調査事業執行のため「産業エネルギー基盤強靭性確保調査事業評価委員会」が組織され、筆者もその委員の 1 人に加わった。委員会では、北海道や東北地方さらには九州地域を対象から外してよいのかという意見も度々出されたが、これらの意見が取り入れられることはなく、上述の対象領域を中心に事業が進められた。それでも本事業の対象には、石油精製事業以外石油化学事業や鉄鋼事業が含まれており、産業施設全体の強靭化につながるものとして大いに期待された。

しかし、本事業の執行後の翌年に開始された「石油供給インフラ強靭化事業」[2)]では、強靭化の対象が石油精製事業とそれに関連する事業に限定されることになった。「石油供給インフラ強靭化事業」がいわゆる揮発油税にその財源を得ていたことが対象事業が限定された理由の一つである。後述するように、「石油供給インフラ強靭化事業」は平成 26 年度からの 6 年間で約 1,000 億円の国費(揮発油税)投入される計画で、年間百数 10 億円が支出されている。この予算は資源エネルギー庁のある一つの課が所管している。これまで執行された

事業で、年間予算が予定通り執行出来ずに予算が余る事態が発生したことがあった。このため、それほど強靭化に急を要しない事業の申請を認め、ほぼ満額で予算全額を消化したこともあった。資源エネルギー庁の中に課毎に厳然とした担当領分があり、一つの課が確保した予算は他の類似事業、例えばコンビナート強靭化の観点で見れば石油化学事業や鉄鋼事業など、他の課が所管する事業には使わないという暗黙の取り決めがあると考えられる。

「産業エネルギー強靭性確保調査事業」のもう一つの問題点は、事業の執行を急いだことである。わずか一年間で必要な調査を終了し、翌年度の平成 26 年度から強靭化の事業が開始された。強靭化のための施工法の開発や設計法の整備が不十分なまま、強靭化工事が執行されることになった。既存の石油精製施設の強靭化工事は、工事用のスペースが狭隘で制限されていること、施設を稼動させながらの施工であり、振動や火気・騒音が厳しく制限されることがあって、通常の工法の適用が困難な場合が多い。このため、これらの条件を満足する工法で、強靭化の効果を事前に確認しておく必要があるが、これが十分には行われていない状況で事業が開始された。さらに、もう一つの問題は、すべての強靭化事業が単年度毎に執行されていることである。強靭化工事には護岸や桟橋の補強など規模の大きい土木工事が含まれ、時には海上工事を含むこともある。これらの工事を単年度で執行するには大きな困難が生じる場合があり、工事自体中途半端になりかねないこともある。十分な計画と準備にもとづいた複数年度での事業の執行が必要である。

平成 26 年度からの「石油供給インフラ強靭化事業」では、平成 29 年度までに表.1 に示す国家予算が使われてきている。しかしながら、上述したように財源として揮発油税を用いた関係から、石油化学、鉄鋼エネルギー産業などはこの事業に含まれず、石油精製事業に限定した強靭化となっている。コンビナート地域全域の強靭化には地域全体の耐震化、対津波化を図らなければ、その効果は半減することになる。未だ、強靭化が行われていない事業所および強靭化の計画がない事業所が数多く残されている。

年度	本予算(億円)	補正予算(億円)	合計(億円)
平成 25	−	125	125
平成 26	−	75	75
平成 27	90	43	133
平成 28	107	61	168
平成 29	100	60	160
計	297	364	661

表.1　石油供給インフラ強靭化事業のうち国庫負担額

特に石油化学工業施設の強靭化は極めて重要である。石油化学事業所には多くの高圧ガ

ス施設が存在するが、この強靭化が進められていない。しかも高圧ガス施設強靭化への補助金は総額にして極めてわずかである。年間数億円の補助金で、石油精製事業への補助金とは1桁も2桁も異なる金額で、極めて不公平に国税が使われている。

「石油供給インフラ強靭化事業」では図.1 に示すように東京湾、大阪湾、伊勢湾を中心に、石油精製事業所で強靭化事業が行われている。主な強靭化対象施設は、貯槽、特に浮屋根式タンクの浮屋根構造の補強（浮屋根が破壊し、油中に沈没することによる全面火災の防止）、側方流動と液状化による地盤変位に対する護岸と配管系の補強、入出荷のための桟橋の補強、タンクローリー出荷設備の新設と補強、防消火設備の増強、津波対策のための電気施設の高所移転、事務所など建屋の補強などである。

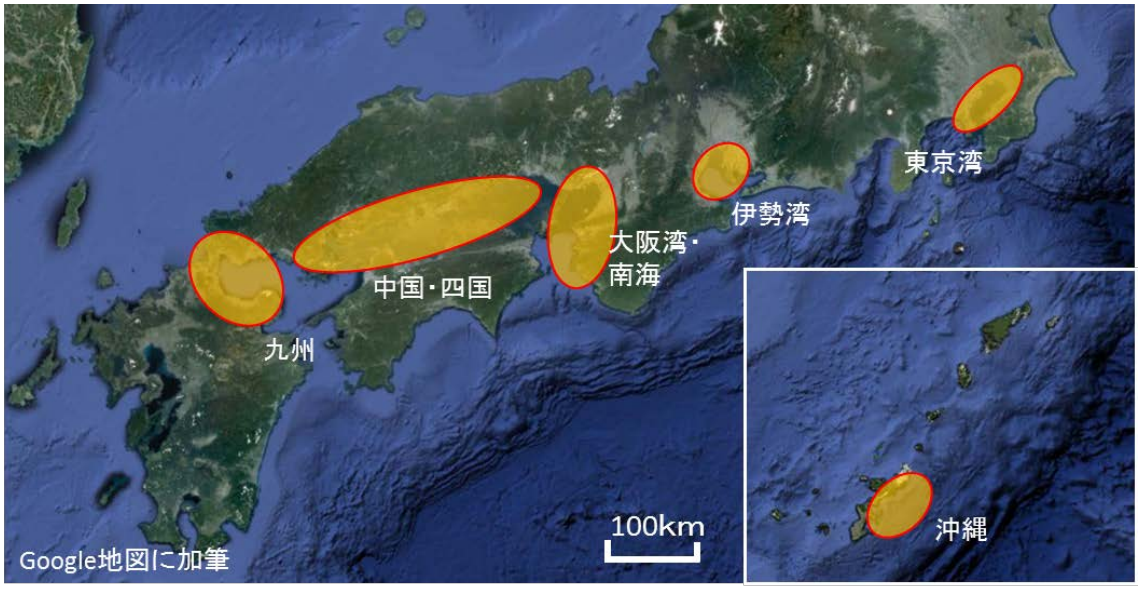


図.1　石油供給インフラ強靭化事業の対象地域

これらの強靭化工事の執行で以下に述べる課題が出て来ている。一つ目の課題は液状化防止のための地盤対策である。埋立地には造成時に大量の建設廃棄物が投棄されている場合がある。建設資材としてのコンクリート片や鉄片が海底浚渫土などの埋立材料とともに投入されている。薬液注入による地盤改良では、一般に注入管というパイプを地中に挿入し、パイプを通して地盤硬化材である薬液を注入して液状化対策を行う。多量のコンクリート片や鉄片などが地中に混入していると注入パイプの挿入が困難となり、計画通りの対策が施工が不可能となる。また、埋立年代が古く、埋立時の工事報告書などの記録がほとんど残されていない場合が多い。実際に工事に着手した後、様々な障害や工事制限により大幅な施工法の変更が必要となることがある。このような事態を避けるためにも事前に試掘などに

よって対象地盤の実状を把握する必要があるが事前の調査は十分に行われていない場合が多い。

液状化対策と側方流動対策でもう一つ工事を難しくしている課題は、工事地盤が私有地と公有地にまたがっている場合が多いことである。埋立地域では、護岸と護岸に沿った道路などが国、県、市などによる公的管理となっていることがある。その背後に石油事業所などによる私有地が存在する。地盤の液状化、特に側方流動を防止するためには護岸近傍での対策が効果的である。既設護岸の前面や背面に鋼管杭や鋼矢板を打設する、または護岸の背後地盤を広範囲にわたって地盤改良することが有効である。しかしながら、護岸およびその近傍の地盤が公有地の場合、事業者のみで強靭化事業を行うことは出来ない。事業者と国および県、市あるいは地域の港湾組合など護岸管理者との協議が不可欠である。このような問題が、これから石油供給インフラ事業の執行において今後しばしば起ると予想されるが、これに対する仕組みは作られていない。

国土交通省は公的管理の重要護岸については液状化対策などの施策を進めて来た。また県や市が管理する護岸も強靭化が進められている。国土交通省は、地震・津波などによる災害時にも主要航路の機能を継続し、海上交通を確保するという役割を担っている。しかしながら川崎港京浜運河の例を図.2 に示すように、主要航路に面して公有管理の護岸と私有管理の護岸が混在している。公有護岸が強靭化によって災害時に破壊されることなく護岸としての機能を維持しても、私有護岸が崩壊あるいは大きく損傷した場合、石油製品などの危険物が航路に流出して、航路としての機能は失われることになる。これらの海上流出油の回収には相当な日数が要することなり、主要港湾の輸出入が停止して、経済活動や国民生活に深刻な影響を与える。

図.2　川崎港京浜運河（主要航路に面して公有護岸と私有護岸が混在している）

国土交通省関東地方整備局は平成 19 年に「臨海部の地震被災影響検討委員会」を設置し、

港湾施設の耐震化の必要性に関する以下の提言（骨子）をまとめている。

- 大規模地震により地盤が液状化した場合、護岸の水平移動や倒壊により、シーバースや出荷桟橋などが破壊されることになり、石油類が海上に流出することが懸念される。また護岸近傍のタンクおよび配管の損傷により内容液が流出する危険性があり、その対策が必要である。
- 海上保安庁が定めた「東京湾排出油防除計画」では、ガソリン、灯油、軽油は引火性が強く、火災、爆発の危険性があり、船のエンジンはもちろんのこと、付近のあらゆる火気を断つ必要がある。施設の破損と火災が同時に発生すれば、船舶の航行制限を行わざるを得ない状態になり、海上からの緊急物資船や復旧対策支援船が入港できない状態が懸念される。
- 東京湾内の主要航路である中ノ瀬航路は「開発保全航路」であり、このため国は被災直後の経済活動と国民生活を守るため、埋立護岸の耐震化に必要な費用の一部を補助する制度を確立する必要がある。

国土交通省は平成 26 年に民有護岸強靭化に関し「無利子貸付及び法人税の特例措置」[3)]を制定した。これは民間事業者保有の護岸で耐震性が十分でなく、油や土砂流出によって航路の機能に影響を及ぼす恐れのある護岸などの補強に対し、無利子、無担保で費用を貸し付け、さらに補強によって増えた資産価値に対する税を減免するという制度である。しかしながら、経済産業省による補助が強靭化費用総額の 3 分の 2 で、事業者にとって有利であることから、国土交通省の制度に応募する事業者は現在の所無く、この制度を改める動きもない。厳しい言い方をすれば国土交通省は臨海部の産業施設の強靭化に関し、アリバイ作りをしているともとれる。コンビナート地域の強靭化に向けて経済産業省と国土交通省の支援のあり方に大きな差異があり、省庁の壁を取り除いた統一された施策が求められているが、一向にこれが改善の方向に向かう兆しはない。

6.3 「石油供給構造高度化事業コンソーシアム」の設立と活動

前節で紹介した、経済産業省資源エネルギー庁「石油インフラ強靭化事業」は、日本石油連盟が資源エネルギー庁より補助事業として受託し、石油連盟に設けられた学識経験者による評価委員会での審議を経て執行されていたが、石油連盟がもともと任意団体であること、石油連盟から自由民主党に政治献金がなされていたことが参議院予算委員会で指摘され[4)]、公正な第三者機関に審査を委ねるということになった。このため、一般財団法人産業施設防災技術調査会は平成 28 年度に株式会社日本能率協会総合研究所と共同で、「石油供

給構造高度化コンソーシアム（Consortium for Resilient Oil Supply System）」[5)]を設立し、「石油インフラ強靭化事業」を受託することになった。コンソーシアムは石油コンビナート強靭化事業審査委員会に、各事業者による強靭化計画の適切性、合理性および経済性の審査を依頼し、審査結果を踏まえて強靭化のための補助金を交付している。年間百億円以上の多額な国費を交付するため、審査は厳正に行われており特に下記の事項の審査に重点が置かれている。

- 各事業者の BCP（事業継続計画）の基本方針との整合性
- 構造物の被害予測(設計・解析)の合理性
- 既往地震による観測地震動と観測事象との整合性
- 従来設計法（地震時土圧や慣性力による設計）による検討結果と有限要素法などによる解析結果との整合性
- 耐震化工法選定と効果確認の合理性
- 工事費用の適切性

「石油インフラ強靭化事業」は平成 30 年 4 月で 5 年度を迎える。残す所あと 2 年の事業となった。問題は、これまでの 4 年間の事業で、石油精製事業の強靭化がどこまで進んだか、又、今後 2 年間で残っている事業は何か？ということを明確にしなければならない。資源エネルギー庁としてもこのことを明確に国民に説明する必要がある。しかし、これまでの「石油インフラ強靭化事業」の成果や今後の施策についての説明は現在の所なされていない。この原因は、補助を受けてきた石油精製事業者が補助事業の実体を公表することに積極的でないことにある。「強靭化を必要とする、言いかえれば安全性が十分でない施設が事業を始める前に数多く残存していたことを認めることになる」、「国よりの補助金は総額の 3/2 で 1/3 は自己負担であるため、自己負担分を含めて公表する義務はない」というのが主たる理由である。

6.4　強靭化促進に向けての課題

前節までに述べたように、臨海部産業施設の強靭化は、経済産業省資源エネルギー庁の政策により、液状化対策、側方流動対策、長周期地震動によるスロッシング対策などが進められている。この強靭化事業をさらに推進するためには以下の課題を解決する必要がある。

（1）　産業施設全般への強靭化事業の拡張

現在進行中の資源エネルギー庁による強靭化事業は、石油精製事業所に限定されている。これは事業のための財源が揮発油税となっていることによる。揮発油税は昭和 29 年以来、道路特定財源となっていたが、平成 21 年に一般財源化された。このため、国会の承認が得

られれば国の他の事業にも使えるようになったが、実際には国土強靭化では石油事業に限定的に使用されている。

わが国の臨海コンビナートには、石油精製事業のみならず、石油化学、鉄鋼、エネルギー（電力、ガスなど）など、各種の産業が立地している。石油化学事業所には危険物施設、高圧ガス施設が建設されている。これらの施設の強靭化は現状では事業者に委ねられており、石油精製事業のような大型の国庫補助はない。仮に、将来の地震、津波によって石油化学事業所に被害が発生すれば、その影響は近接の産業施設に波及することになる。臨海部コンビナート全体の強靭化を図るためには、産業の垣根を越えた取組が不可欠であり、行政側も管轄にとらわれない施策が必要である。

（2） 広域（埋立地全域、湾全域）での強靭化の推進

一つの埋立地をとっても、そこには大小様々な事業所が存在する。上述したように強靭化事業が施工されていない事業所で地震・津波により災害が発生すればその被害は隣接する他の事業所に波及する。このような事態が発生することは、平成 23 年東北地方太平洋沖地震において、市原市の石油精製施設の火災が隣接した事業所に延焼したことからも明らかである。さらに、一つの埋立地での被災は運河などの海域を通じて他の埋立地に広がり、湾全体に被害が拡大することも予想される。

資源エネルギー庁の強靭化事業では、比較的規模が大きい石油事業者が応募し、国の補助金によって強靭化事業が進められている。同じ埋立地の中に、大規模な事業所に隣接して中小規模の石油精製事業所、石油化学事業所も存在する。これらの事業所は強靭化事業に応募することもなく、現在の所事業より除外されている。中小の事業所が強靭化事業よりはずれている理由の一つに、強靭化総額費用のうち 3 分の 1 は事業者負担となっていることがある。しかし全額国庫補助にするというのは民間事業であることから納税者の納得を得ることは難しい。また事業所の規模によって自己負担の割合を変えるというのは現実的でない。国庫補助のあり方は産業施設の強靭化促進に向けて今後の議論が必要な事項である。

広域で強靭化を進めるためには事業者間での情報の共有も不可欠である。隣接する事業所で将来の地震・津波によってどのような被害が発生し、その影響はどこまで広がるのか、脆弱な施設はどこにどの程度存在するのか、また、それぞれの事業所で強靭化事業はどこまで進められているのかを、お互いに知ることは自己の事業所の強靭化事業を進める上で不可欠な情報である。このようなリスクに関わる情報や強靭化事業の情報の共有化を図るためには、事業者間相互の連携はもとより、国、自治体および石油連盟のような事業者団体などの強力なリーダーシップが欠かせない。

（3）　経済的損失総額の推定と強靭化総額費用の算定

本報告書では、第 4 章において、東京湾京浜地区を対象として、油の流出による航路閉塞に起因した経済損失額を推定した。横浜港、川崎港、東京港、千葉港の輸出入停止による生産誘発額の減少に輸出入停止期間を乗じて経済損失額を算定した。コンビナート被害を東京湾の京浜地区に限定していること、また伊勢湾、大阪湾が検討対象外となっていることからこの損失額は経済損失の額のごく一部に過ぎない。今後、他の地域も含め、わが国全体としての経済損失額を推計する必要がある。

輸出入停止による損失の他に、石油製品の供給停止による他産業への影響、経済の停滞など、その影響は広域かつ長期にわたるものと推定される。強靭化を実施せず、このまま臨海部の産業施設を放置した場合、国家的損害はどこまで増大するのかを把握する必要がある。これによって、臨海部産業施設の強靭化に投入すべき適切な国費の総額が決定されることになる。

さらにコンビナート被害が国家の機能にどのようなダメージを及ぼすかについて、定量的な推定が求められている。残念ながら、経済学分野でこのような課題に取り組んでいる研究者は少ない。防災と経済に精通した研究者の育成と防災経済学の確立が望まれる。

強地震動、液状化、側方流動、長周期地震動および津波に対してコンビナート施設を強靭化するための総額費用を推計することも今後の重要な課題である。筆者らの試算により、京浜地区 5 島(扇島・東扇島・浮島・千鳥・水江)の側方流動を防止するための護岸補強に要する費用は全長 30km の護岸に対し、概ね 1,900 億円と見積もられている。これに対し、第 4 章で述べたように油流出に起因した航路閉塞による経済被害額は約 2 兆円に達すると推定されている。被害を予防するための費用は経済損失額の 1/10 以下となっている。しかし、国および民間事業者が強靭化に投入出来る費用には限界がある。施設の重要度、近隣住民の安全性に与える影響および投入可能な強靭化費用をもとに強靭化の優先順位を決める必要がある。

（4）　地域社会との連携

東京湾の京浜コンビナートなどでは、コンビナート地区と商業地域や住居地域が近接している。京葉コンビナートはその建設にあたって住居地域との間に広幅員の京葉道路を建設して、安全上の離間距離を設けている。しかしながら、2011 年東北地方太平洋沖地震では、京葉コンビナートにおいて 17 基の LPG タンクが爆発炎上し、爆発した球形タンクの破片が約 6km も飛散して、住宅地に落下した。このようにコンビナートの災害は近隣住民と地域の安全性に大きな脅威を与えている。しかしながら住民や自治体からコンビナート

事業者にリスク情報や防災対策の現状に関する情報の開示を求めても容易には応じていないのが現状である。コンビナートとそこに隣接する地域の地震・津波対策に関し、地域住民と事業者とが対立関係になっている場合もある。また、自治体は地域防計画を立案するためにコンビナート地区での被害予測結果や安全対策に関する情報を必要とするが、十分には情報が提供されていない。各自治体の消防機関は、法令で定められたコンビナート施設の健全性の査察は行っているが、事業所全体の安全性の評価は行っていない。また、自治体の首長や安全担当者も事業所の中の状況についてはほとんど実体を把握していない。このため、コンビナートが立地している地域の防災計画ではコンビナート被災想定と被災が地域社会に与える影響および安全対策が含まれていないことが多い。

地域の自然災害に対する安全性向上のために、地域住民とコンビナート事業者との協調が何とか得られないものか。少しでも地域住民とコンビナート事業者との相互理解を深め、連携を図るという目的で、早稲田大学東京安全研究所では、「臨海部の地震・津波防災性向上に関する懇談会」を組織し、国、自治体、研究者も交えて、地域住民とコンビナート事業者との間の連携が図れるように会合を重ねている。前述したように、お互いに敵対するのではなく、相互の信頼感を醸成することが懇談会の目的の一つである。

コンビナート事業所の中には熟練した技術者や災害対応に精通した防災担当者が相当数勤務している。また災害後の救急や復旧に必要な資機材も備蓄されている。これらの人材や資機材が、近隣地域の災害直後の救急対応や復旧に大きく貢献するものと考えられる。このことを地域住民もよく理解し、コンビナート事業者との協調を図る必要がある。

（5） 行政の連携

平成 25 年度に行われた「産業・エネルギー基盤強靭性確保調査事業」、同じく平成 26 年度よりスタートした「石油供給インフラ強靭化事業」はいずれも経済産業省によって執行されている。一方国土交通省もコンビナート防災を中心として港湾地域における防災・減災対策に取り組んでいる。しかしながら、この両省の取り組みが十分には連携していないのが現状である。コンビナート地区では、護岸や護岸沿いの道路は公的管理であることがある。これらの公的管理の土地や施設の背後にコンビナート事業所が立地している。側方流動による被害を防止するためには、公有護岸や道路の敷地を含めて、地盤改良などの対策を取ることが効果的であることは言うまでもない。しかしながら、事業所の強靭化に併せて、これらの公有護岸・施設の強靭化を同時に行うことは予算措置や執行時期の問題もあって容易ではない。公有護岸や公有道路などの強靭化費用を国・県などが確保することは短期間では不可能である。計画を立て、予算を見積り、議会での承認を受けてからということになるため、

現在、執行中の経済産業省の強靭化事業と歩調を合わせることは難しいと思われる。

臨海コンビナートの強靭化に関し、国の行政が府省庁間で連携していない事例をもう一例紹介する。平成 26 年より内閣府の主導で「戦略的イノベーション創造プログラム（通称 SIP）」という国家的研究プログラムが推進されている。平成 26 年から 5 年間で数百億の研究・開発費を投入するという巨大研究プログラムである。この中に「石油コンビナート防災研究イニシアティブ」[6)]という研究プログラムが含まれており、臨海部産業施設の被害とそれが社会・経済に与える影響の予測、および護岸やコンビナート施設の耐震化工法の開発などがテーマとして挙げられている。公的研究機関や大学などによって護岸の補強方法や産業施設の耐震補工法などについて研究・開発が進められている。一方、本報告書で述べて来たように臨海部コンビナート強靭化事業は既に平成 25 年度より経済産業省により開始されている。国による研究開発とそれらの成果と用いたコンビナート強靭化の実施順序が逆になっている。内閣府の SIP の成果が挙がる時には、臨海コンビナート強靭化の事業は大半終了しているという皮肉な結果になりかねない。このことを筆者は機会ある度に指摘しているが、具体的な省庁間の連携・調整が進められているとは現状では聞いていない。

参考文献

1) 経済産業省、産業エネルギー基盤強靭性確保調査事業、
http://www.meti.go.jp/main/yosan2012/20130115.pdf
2) 経済産業省、石油供給インフラ強靭化事業、
http://www.enecho.meti.go.jp/appli/public_offer/1604/160414c/
3) 国土交通省、無利子貸付及び法人税の特別措置、
https://www.mlit.go.jp/common/001037862.pdf
4) 参議院予算委員会、
http://kokkai.ndl.go.jp/SENTAKU/sangiin/190/0014/19003290014020c.html
5) 石油供給構造高度化コンソーシアム、http://www.cros.or.jp/
6) 内閣府、戦略的イノベーション創造プログラム、石油コンビナート防災研究イニシアティブ、http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/

コンビナート強靭化促進に向けての提言

コンビナート対策分科会

太平洋戦争後の復興期から建設されてきた、エネルギー・鉄鋼・自動車産業などの主要産業施設は、わが国を世界第２位の経済大国に押し上げ、高い国際的地位を築くとともに、社会の発展と国民の生活レベルの向上に大きく貢献してきた。

しかしながら、中規模以上の地震が発生する度に、危険物・高圧ガスのタンク火災と爆発、原油などの海上流出と海上火災などの被害が発生してきている。特に、２０１１年東北地方太平洋沖地震では、東京湾岸や東北地方沿岸部の埋立地に建設されていた石油精製施設に甚大な被害が発生し、復旧活動への大きな障害となるとともに、地震後の社会・経済活動にも深刻な影響を与えたことは記憶に新しい。

２０１３年に国土強靭化基本法が制定され、主として石油精製施設の強靭化に多額な国費が投入されている。※1)既存の石油精製設備・入出荷設備の補強、液状化・流動化対策、護岸などの補強が進められているが、石油産業以外コンビナートの施設は、国による支援体制も十分でなく、また個々の企業の財政的制約もあって、遅々として進んでいないのが現状である。

これらの産業施設が、近い将来発生し得ると予想されている南海トラフ巨大地震や首都直下地震によって大きな被害を受けた場合、わが国のみならず世界経済に与える影響は極めて深刻であり、世界恐慌の引き金になる可能性は否定できず、わが国の国際的地位も決定的に低下すると考えられる。

産業施設、特に大都市圏臨海部の軟弱な埋立地に建設されてきたコンビナート施設の強靭化を進めることは、これからのわが国の安定的発展を図る上で喫緊の課題であり、国の強靭化政策の中でも極めて重要な施策であると位置付けられる。

コンビナート分科会では、既往地震・津波によるコンビナート施設の被害の再点検、コンビナート事業者への強靭化の現状に関するアンケート調査、コンビナート施設全般に渡る国の施策と補助制度の調査を行った。これらの調査・分析結果もとに、コンビナート施設の強靭化をより強力に推進するため、以下の提言を政府、自治体、事業者団体、民間事業者および地域住民に発信する。

１　コンビナート施設全体の強靭化事業

現在進行中の資源エネルギー庁による石油供給インフラ強靭化事業は、その財源(石油・石炭税)の関係から石油精製事業所に限定されている。※2)

わが国の臨海コンビナートには、石油精製事業のみならず、石油化学、鉄鋼、エネルギー（電力、ガスなど）など、各種の産業が立地している。石油化学事業所には危険物施設、高圧ガス施設が数多く立地している。これらの施設の強靭化は現状では事業者に委ねられており、石油精製事業のような大型の国庫補助はない。仮に、将来の地震、津波によって

石油化学事業所に被害が発生すれば、その影響は近接の産業施設に波及することになる。臨海部コンビナート全体の強靭化を図るためには、産業の垣根を越えた取組が不可欠であり、行政庁や担当部課も従来からの管轄にとらわれない施策が必要である。

※1)資源エネルギー庁は２０１３年度より「石油コンビナート強靭化事業」を開始しており、２０１９年度までに約１，０００億円の補助金を事業者に支援する予定である。

※2) 揮発油税は2009年に一般財源化され、他の目的にも使われることになったが、依然として、担当省庁において石油産業優先という慣習が残っている。石油化学産業など他のエネルギー産業の強靭化には支出された例がない。

２　広域（埋立地全域、湾全域）での強靭化の推進

一つの埋立地をとっても、そこには大小様々な事業所が存在する。仮に強靭化事業が施工されていない事業所で地震・津波により災害が発生すれば、その被害は隣接する他の事業所に波及する。このような事態が発生することは、２０１１年東北地方太平洋沖地震において、市原市の石油精製施設の火災が隣接した事業所に延焼したことからも明らかである。さらに、一つの埋立地での被災は運河などの海域を通じて他の埋立地に広がり、湾全体に被害が拡大することになる。このためコンビナートの強靭化は埋立地全体さらには湾全体で推進することが重要である。

広域でコンビナート地域の強靭化を進めるためには、事業者間相互の情報公開と共有および密接な連携はもとより、国、自治体および事業者団体などの強力なリーダーシップが不可欠である。

３　経済的損失総額の推定と強靭化総額費用の算定

コンビナート分科会報告の、第４章では、東京湾の京浜地区を対象として、油の流出による航路閉塞に起因した経済損失額を約２兆円と推定した。横浜港、川崎港、東京港、千葉港の輸出入停止による生産誘発額の減少に輸出入停止期間を乗じて経済損失額を算定した結果である。コンビナート被害を東京湾の京浜地区に限定していること、また伊勢湾、大阪湾さらには他の地域のコンビナートが検討対象外となっていることからこの損失額は経済損失の額のごく一部に過ぎないと考えられる。今後、他の地域も含め、わが国全体としてのコンビナート被害による経済損失額を推計する必要がある。

輸出入停止による損失の他に、石油製品の供給停止による他産業への影響、経済の停滞など、その影響は広域かつ長期にわたるものと推定される。強靭化を実施せず、このまま臨海部のコンビナート施設を放置した場合、経済損失がどこまで増大するのかを把握する必要がある。これによって、臨海部コンビナートの強靭化に投入すべき適切な国費の総額が決定される。

強地震動、液状化、側方流動、長周期地震動および津波に対してコンビナート施設を強靭化するための総額費用を推計することも今後の重要な課題である。コンビナート分科会

の試算により、東京湾京浜地区５島(扇島・東扇島・浮島・千鳥・水江)の側方流動を防止するための護岸補強に要する費用は全長約３０km の護岸に対し、概ね１,９００億円と見積もられた。被害を予防するための費用は、上述の経済損失額約２兆円の１/１０以下であり、いかに事前対策が重要であるかを示している。コンビナートの強靭化にこれからも巨額の国費を投入するためには、経済的損失額と強靭化に要する費用を明確に示して、広く国民の理解を得ることが必要である。

４　地域社会との連携

東京湾の京浜コンビナートなどでは、コンビナート地区と商業地域や住居地域が近接している。コンビナートの災害は近隣住民と地域の安全性に大きな脅威を与えている。しかしながら住民や自治体からコンビナート事業者にリスク情報や防災対策の現状に関する情報開示を求めても容易には応じていないのが現状である。また、自治体は地域防計画を立案するためにコンビナート地区での被害予測結果や安全対策に関する情報を必要とするが、十分には情報が提供されていない。企業の保有する施設の脆弱性が公開された場合、企業の利益を損ねるというのが非公開の主たる理由である。積極的に強靭化事業を推進し、社会全体の安全性向上に貢献していることを地域と住民に周知公開することも企業の社会的評価を高めるために求められる。

地域の自然災害に対する安全性向上のために、地域住民とコンビナート事業者との協調は不可欠である。コンビナート事業所の中には熟練した技術者や災害対応に精通した防災担当者が相当数勤務している。また災害後の救急や復旧に必要な資機材も事業所の中に備蓄されている。これらの人材や資機材が、近隣地域の災害直後の救急対応や復旧に大きく貢献するものと考えられる。このことを地域住民もよく理解し、コンビナート事業者との協調を図ることも重要である。

５　行政間の連携と補助制度の拡張の連携

平成 25 年度に行われた「産業・エネルギー基盤強靭性確保調査事業」、同じく平成 26 年度よりスタートした「石油供給インフラ強靭化事業」はいずれも経済産業省によって執行されている。一方国土交通省も、２０１４年に民有護岸の強靭化に対し「無利子貸付及び法人税の特例措置」の制度を制定したが、現状ではこの制度が活用された事例はない。国土交通省と経済産業省の補助制度が異なり、取り組みが連携していないのが現状である。経済産業省による事業は石油精製事業に限定されており、他のコンビナート施設の強靭化への補助は含まれていない。

コンビナート地区では、護岸や護岸沿いの道路は公的管理であることが多い。これらの公的管理の土地や施設の背後にコンビナート事業所が立地している。側方流動による被害を防止するためには、公有護岸や道路の敷地を含めて、地盤改良などの対策を取ることが効果的であることが、省庁間にまたがる強靭化事業は、手続きの煩雑さや費用分担など解

決を要する課題が多い。

６　克服すべき技術的課題

６－１　老朽化対策

冒頭に述べたように、臨海部の主要な産業施設の建設の多くは太平洋戦争後の復興期より開始されており、建設後半世紀が経過している。このため、経年劣化が進んでいる施設も相当な数に達するものと考えられる。関係省庁や自治体の指導により定期的な検査は実施されているが、検査対象部位の数が膨大となることから技術的課題も多く残されている。また構造物や施設の基礎など検査技術が不十分なこともあって、基礎の欠陥部位が見落とされる可能性もある。

産業施設の通常時の中小事故の主な要因として経年劣化が挙げられている。施設を稼動しながら、劣化の進んでいる部位をなるべく簡易な方法で発見し、これらを補強する技術を開発する必要がある。

６－２　液状化対策

わが国のコンビナートは原材料の入荷や製品の出荷等の利便性のため、その多くが大都市圏臨海部の埋立地に立地している。これらの埋立地の大部分は昭和２０年代から昭和３０年代に造成されてきた。

一方、砂質地盤の液状化現象とそれが引き起す被害は、１９６４年の新潟地震(昭和３９年)を契機に工学的な観点よりはじめて認識された。新潟地震より数年後に、地盤や護岸および構造物基礎の液状化対策工法が研究・開発された。これらの対策技術の一部はコンビナート施設に現在活用されている。しかしながら、新潟地震以前に造成された埋立地や護岸およびコンビナート施設には、ほとんどの場合液状化対策が施工されていない。このような埋立地とコンビナート施設が東京湾をはじめとするわが国の主要港湾に数多く残されている。

既に埋め立てられた地盤の液状化対策や既存施設の液状化対策には多くの技術的課題もあり、補強費用も高額になる。この課題を解決するための効果的、経済的液状化対策工法と設計法の開発が不可欠である。

６－３　側方流動対策

１９９５年兵庫県南部地震により液状化地盤の側方流動によって道路・鉄道など多くの構造物が被害を受けたことから、側方流動に対する設計法が道路橋示方書、鉄道構造物等設計標準、高圧ガス設備等耐震基準などで規定されている。しかし、側方流動が構造物基礎に及ぼす外力の特性などの解明が十分に進んでいないこともあって各種基準では、設計外力の設定や対策方法などについて統一された手法が示されていない。

また側方流動対策は既存設備周辺の広範囲な地盤の対策が必要となる場合があり、事業者の経済的負担が大きく、対策が進展しない要因の一つにもなっている。

６－４　強靭化施工法の開発

既存の産業施設の強靭化では、狭隘な施工空間で施工、騒音・振動・火気など制約、埋立地盤の埋設物(建設廃材の投棄)が施工の可否に与える影響など様々な制約が発生する。これらの条件をクリアし、適切な工事費で、信頼性の高い工法の開発が必要である。新設構造物・施設の建設工法を適用することはほとんどの場合不可能であり、既設構造物強靭化に特化した施工法と設計法の開発が重要である。

６－５　技術基準の統一

コンビナート施設全体の強靭化では、個々の構造物や設備・機器の強靭化に加えて、システム全体としての耐震性を評価する必要がある。しかしながらシステムの耐震性評価において用いられる耐震設計技術が、構造物(土木、建築、港湾、河川など)や設備・機器（機械、電機、ガス、配管、タンクなど）のそれぞれで統一されていない。

技術基準の違いは最終的には不十分な性能評価や費用の増加につながるため、監督省庁の壁を乗り越えた連携の下、様々な耐震設計技術の統一を早急に行う必要がある。

６－６　組織の集合体、地域などを対象とした BCP

コンビナート事業者の多くは事業所毎の BSP を策定し、これをもとに定期的な訓槽を繰り返していることは評価される。しかしコンビナート地域全体の強靭性向上のためには事業所の集合体としての BSP の策定が不可欠である。しかし、多種多様のシステムから構成されるコンビナート施設、企業の集合体であるコンビナート地域へと耐震性の検討対象を広げて評価する手法は確立されたものとは言えず、今後の課題として取組むべきである。