



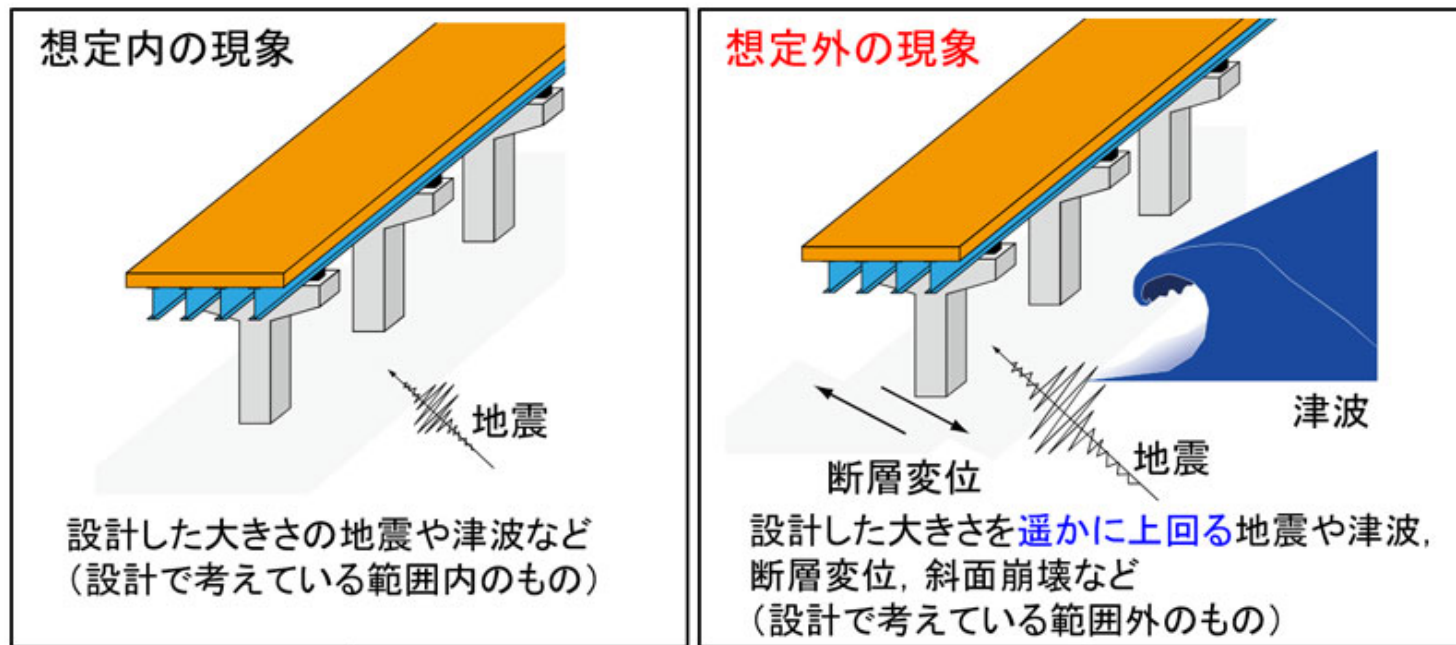
R3土木学会全国大会（2021年9月10日）

気仙沼湾横断橋の設計段階における危機耐性向上の取組み

大日本コンサルタント(株)
構造耐震技術センター
特殊橋梁技術室
吉岡 勉

発表概要

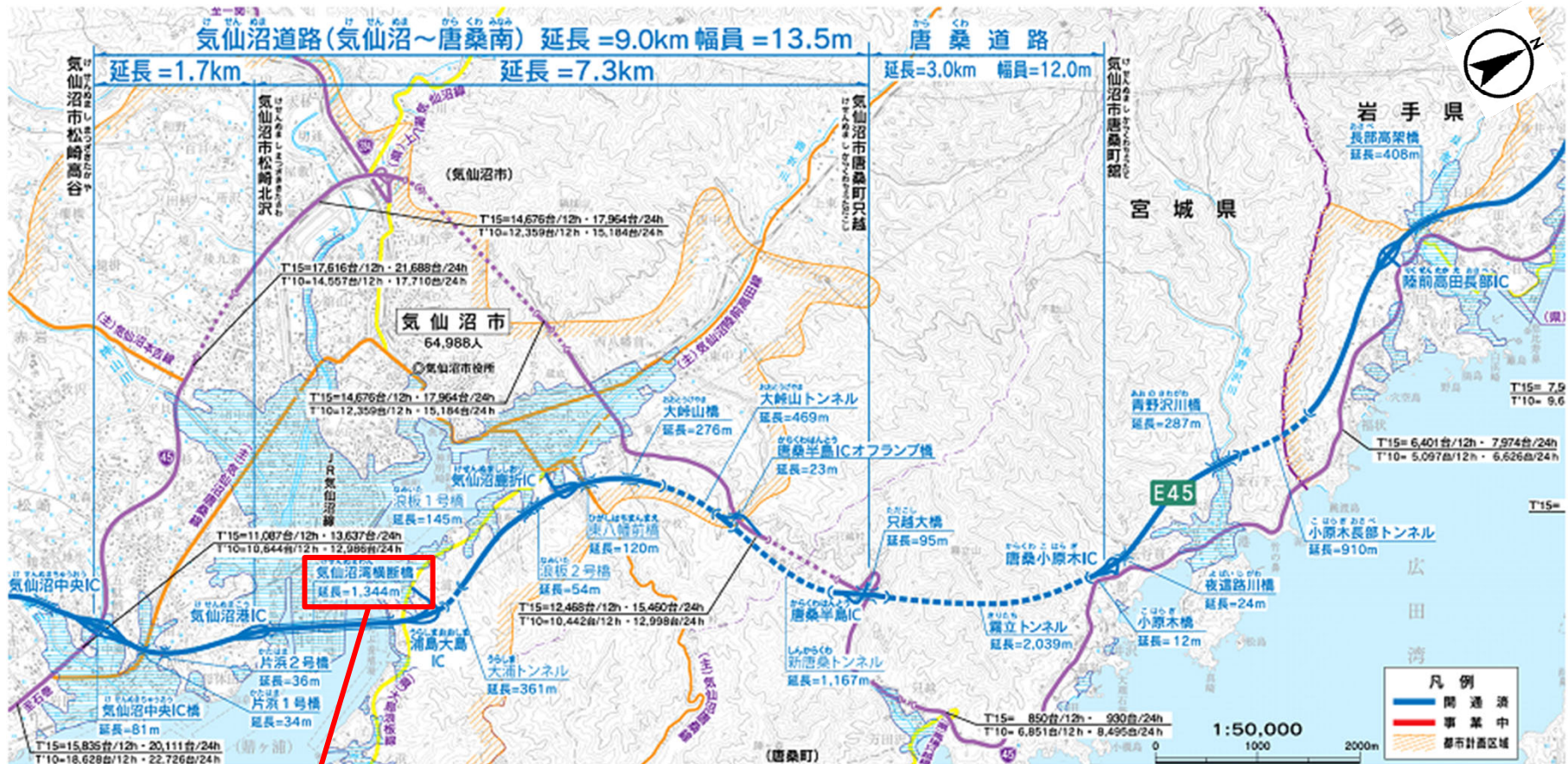
- 東日本大震災を契機に、**想定外を想定する危機管理**が土木分野に強く望まれる ⇒ 危機耐性≒レジリエンス
- 基準で定められた荷重に対して設計するのみではなく、少しの追加コストで想定外力に対して**脆性的な破壊を回避できる計画・設計**が重要であり、復興のシンボルとなる橋に適用



出典: <https://www.pwri.go.jp/caesar/activity/research/q03-resilience/q03-resilience.html>

三陸沿岸道路の整備状況

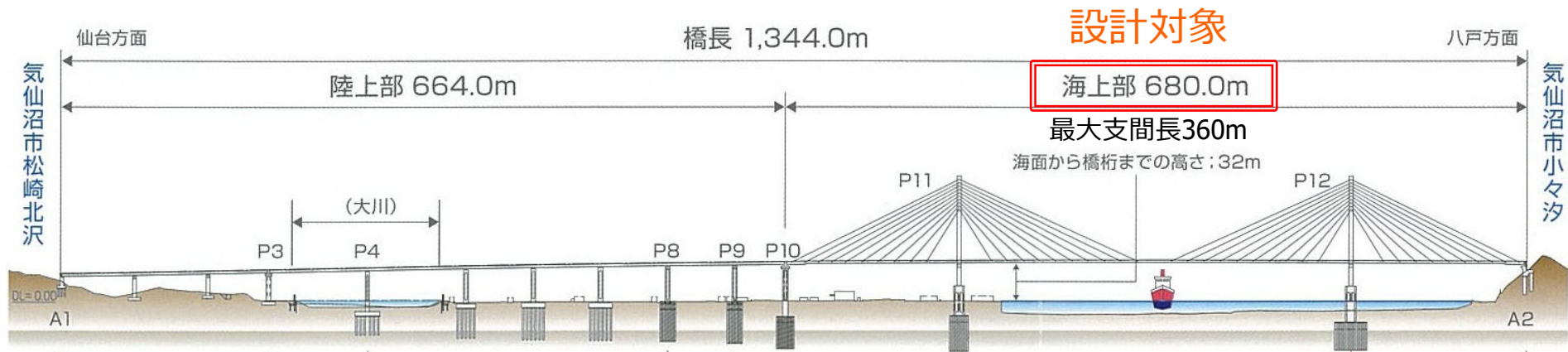
三陸沿岸道路359km／気仙沼道路13.5km(2021年3月6日全線開通)



気仙沼湾横断橋1,344m

出典：国交省東北地方整備局HP「http://www.thr.mlit.go.jp/sendai/douro/sanriku/gaiyou/gaiyou_karakuwa.htm」

気仙沼湾横断橋の概要

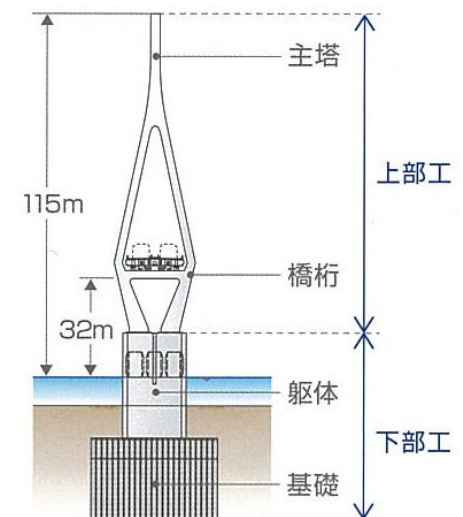


<設計条件>

路線名 : 三陸沿岸道路 気仙沼唐桑道路
道路規格 : 第1種第3級 V=80km/h
計画交通量 : 11,900台/日、大型車4,546台/日
橋の重要度 : B種の橋、塩害対策S区分



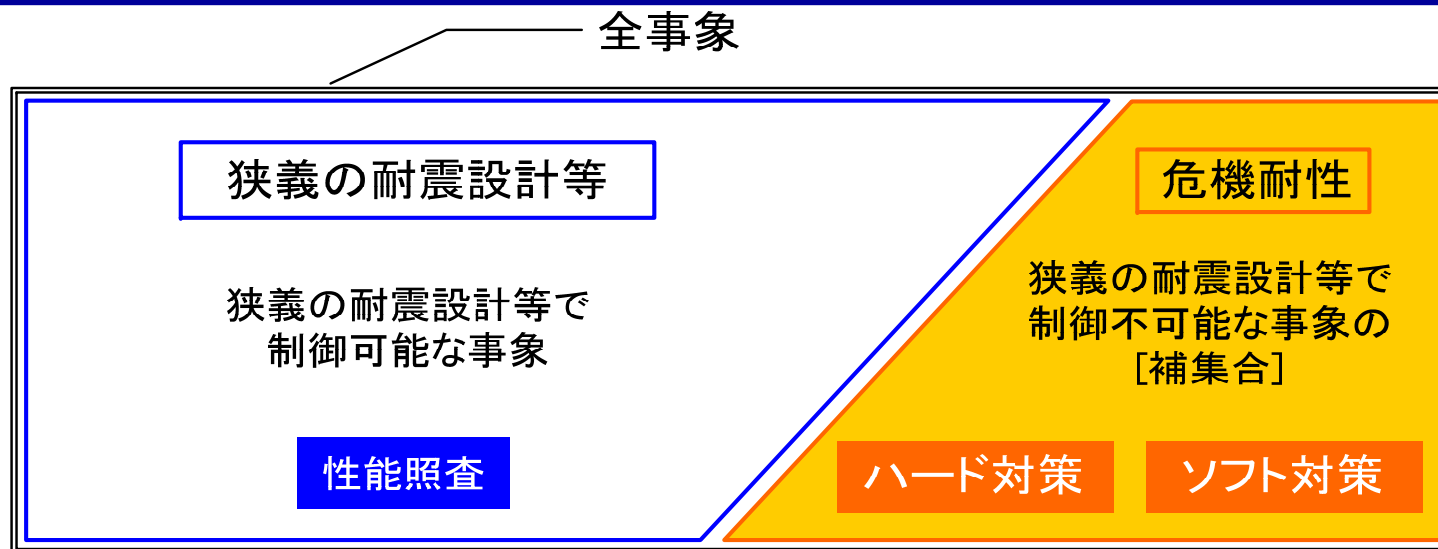
主塔断面図



危機耐性の概念

- ✓ 東日本大震災を契機に、設計で考慮する事象を超えた事象への対応として「危機耐性」という概念が共有されつつある
- ✓ H29道示V「2.7.2構造設計上の配慮事項」において、設計で考慮した地震力を上回る場合に脆性的な破壊を回避することへの配慮の考えが明記

危機耐性：狭義の耐震設計等では制御できない事象を考慮し、社会への影響をより小さくする性質

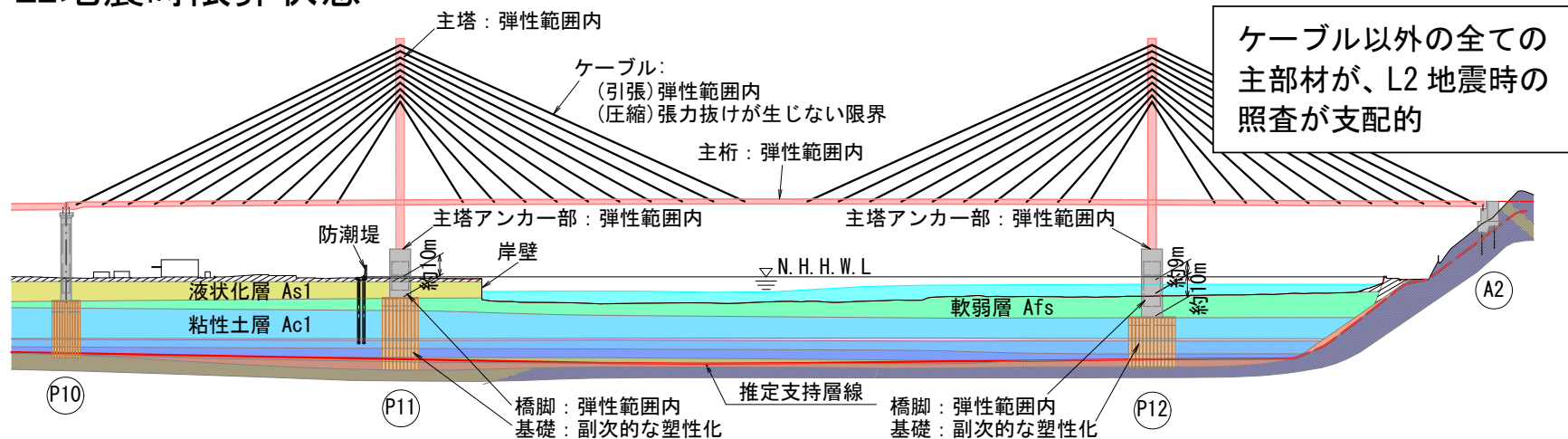


文献「武田, 西村: 橋梁耐震への危機耐性導入に関する一考察, 土木学会論文集A1, Vol. 75, No. 4, pp. I_688-I_700, 2019.」を参考に作成

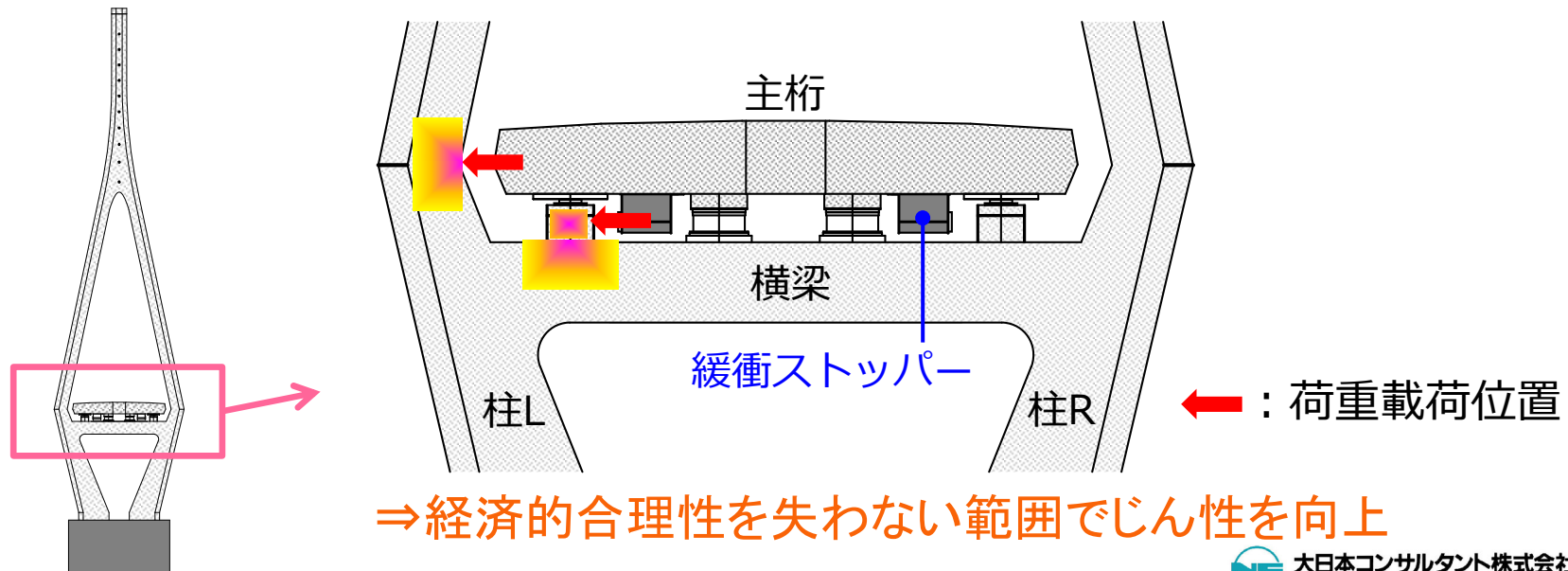
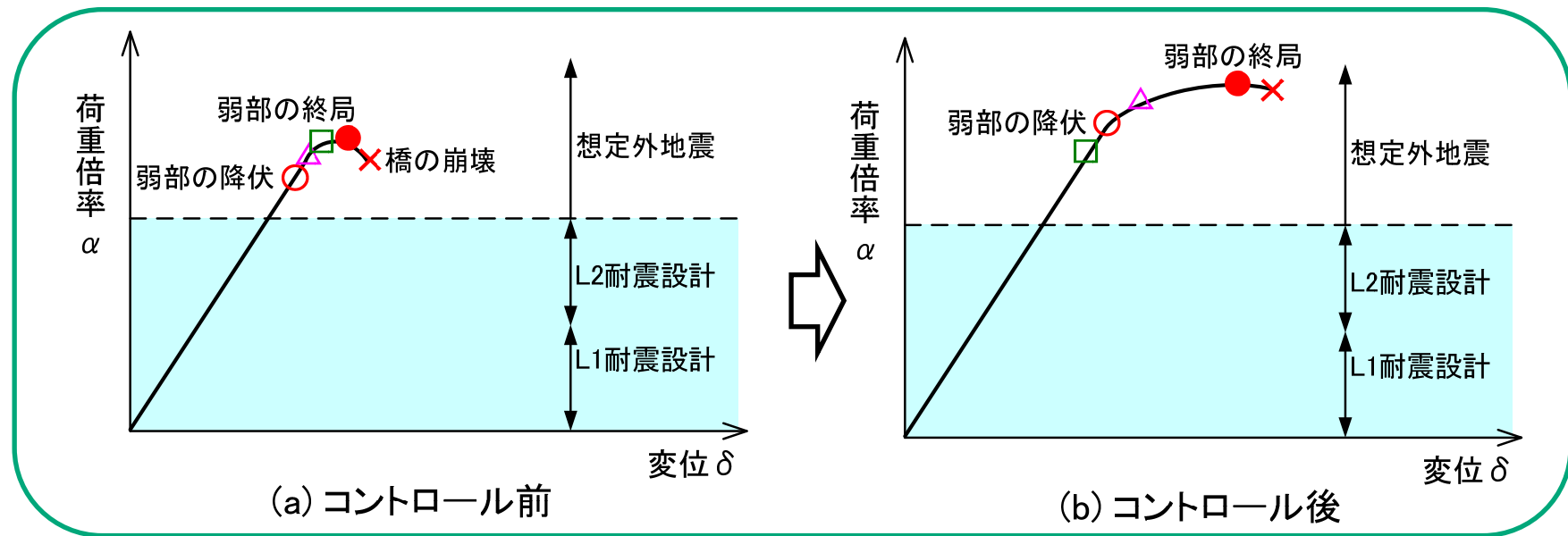
危機耐性向上の取組み

分類	事象	求める橋の状態	設計における取組み内容
耐震設計	レベル2地震時	◆上下部構造は弾性状態 ◆基礎構造は副次的な塑性化	◆免震構造を採用(液状化層の下に基礎を床付け) ◆軟弱地盤との共振性を動的相互作用解析より検証
危機耐性	想定外地震時(M9～M10級)	◆ねばり強い構造 ◆弱部は維持管理に配慮	①漸増動的解析(IDA)による鋼製主塔の損傷制御 ②海中橋脚は有害なせん断ひび割れを回避の構造
	L1・L2津波時	◆漂流船舶の鋼部材衝突回避 ◆洗堀による安全性を確保	③RC橋脚の天端高さ決定し、船舶衝突時に弾性状態 ④津波による海底洗堀に対して床付け位置を設定
	火災や車両衝突時	◆ケーブル1本破断があっても橋全体の崩壊には至らない	⑤静的リダンダンシー解析よりケーブル本数を決定 ⑥動的リダンダンシー解析より破断時安全性を確認
	斜面変状時	◆橋台の安全性を確保	⑦不安定な土層の地盤抵抗を無視して深礎基礎設計

◆L2地震時限界状態



想定外地震時のダメージコントロール設計



漸増動的解析(IDA)による主塔損傷制御

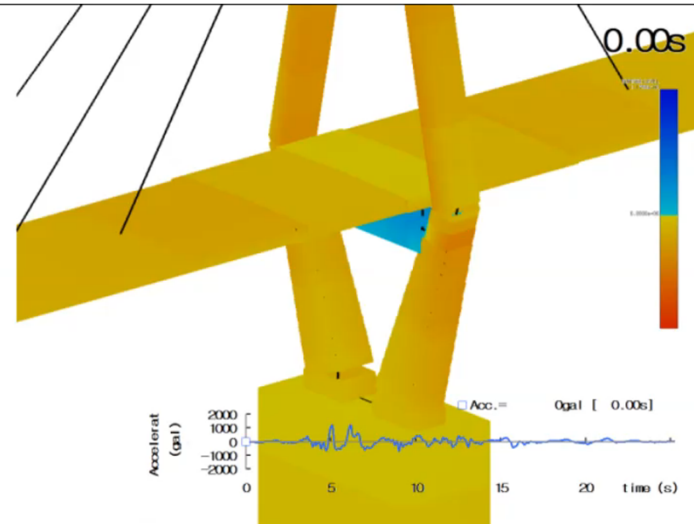
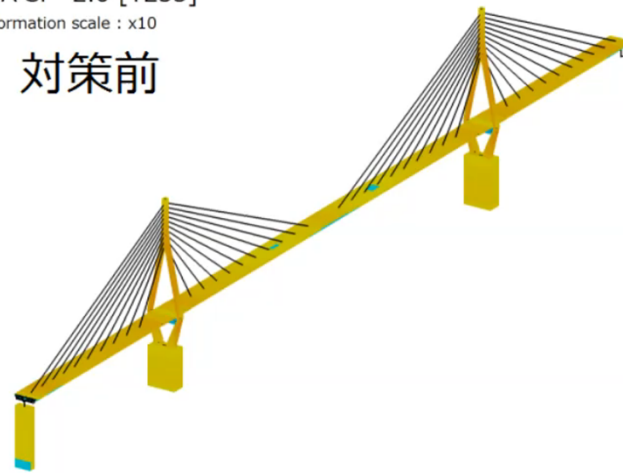
- ・レベル2地震動を1～5倍し、複数回動的解析を実施
- ・一つ一つは通常の動的解析

- ・何倍で終局に至るか
- ・弱点の把握

IDA SF=2.0 [Y233]

deformation scale : x10

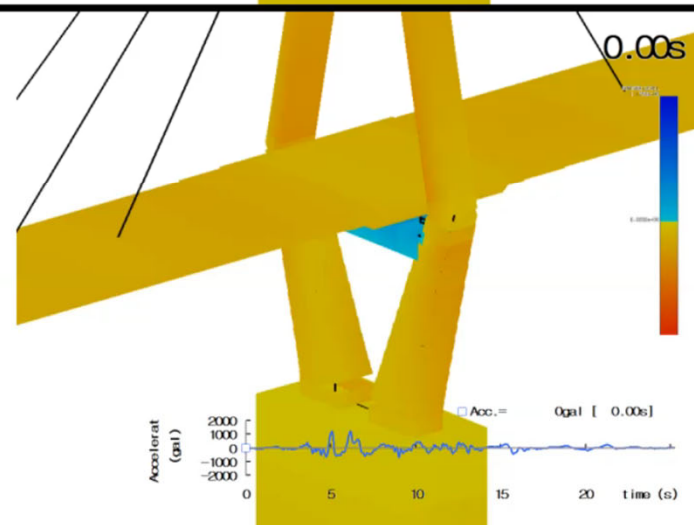
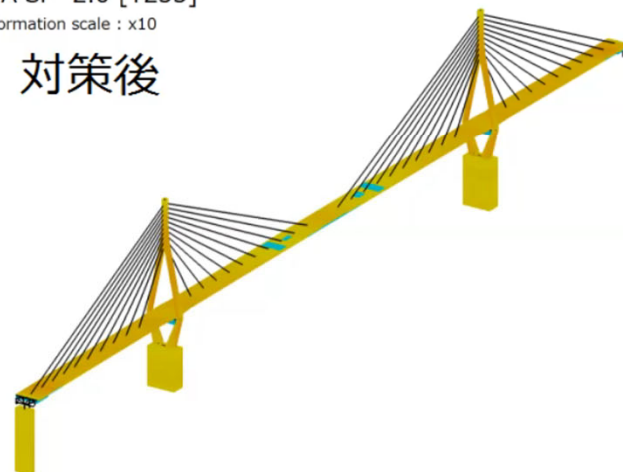
対策前



IDA SF=2.0 [Y233]

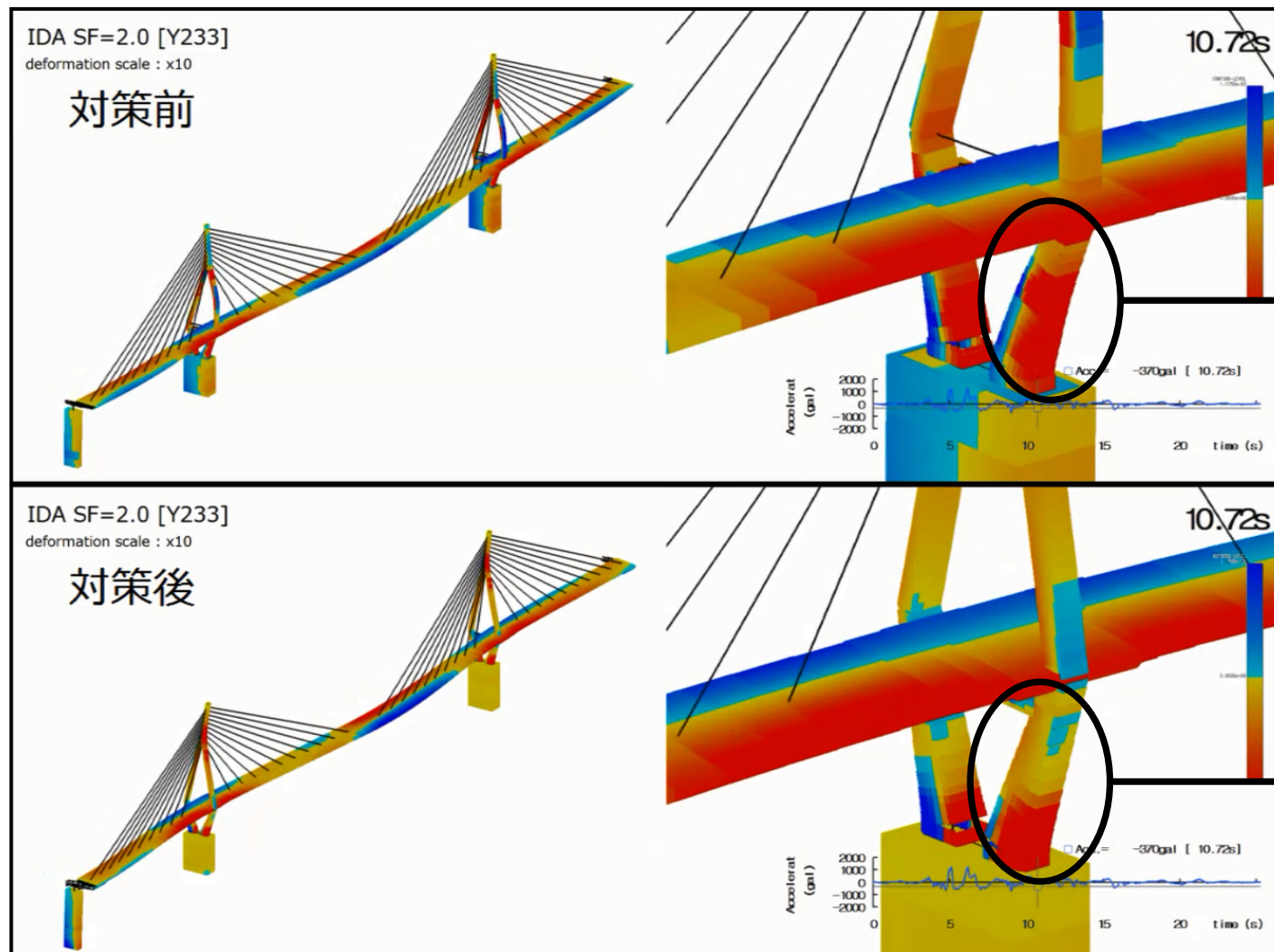
deformation scale : x10

対策後



漸増動的解析結果

対策前後比較（レベル2地震動×2倍の動的解析結果）



[対策前]
1.3倍で終局

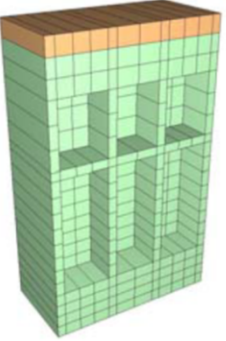
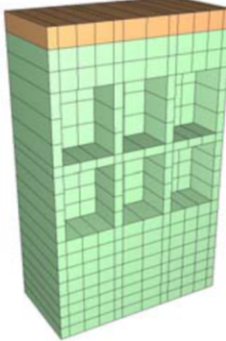
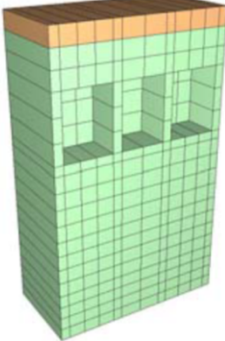
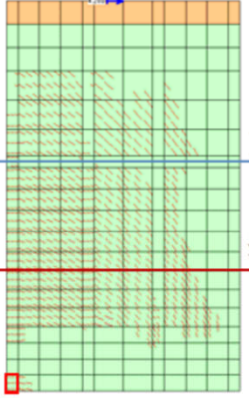
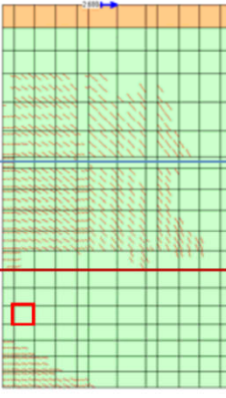
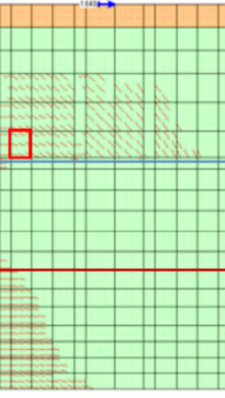
降伏範囲が
減少

[対策後]
2.0倍で終局

引張  圧縮

P.O解析による海中橋脚のひび割れ照査

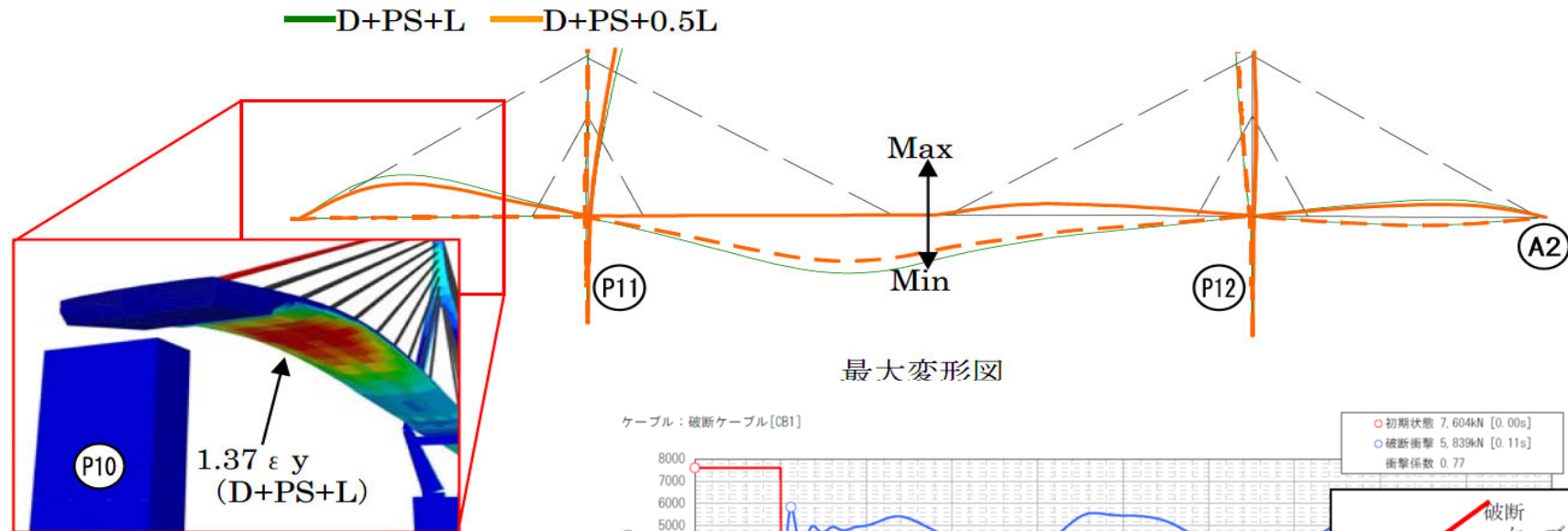
◆P12主塔海中橋脚の橋軸直角方向解析結果

	A案：最小充実高さ	B案：充実高さ（海底面）	C案：充実高さ（海水面）
解析モデル			
L2 地震時 ひび割れ	 H.W.L. $\nabla 1.090$ 海底面 中空部に斜め方向のせん断ひび割れが発生。曲げひび割れは基部引張縁と中空部引張縁に分散している。	 充実部のひび割れが中空部との境界の一部を除いて曲げひび割れとなっている	 海中部のひび割れは曲げひび割れのみが生じている

⇒海中部を充実断面とすることで海中部の有害なせん断ひび割れを回避

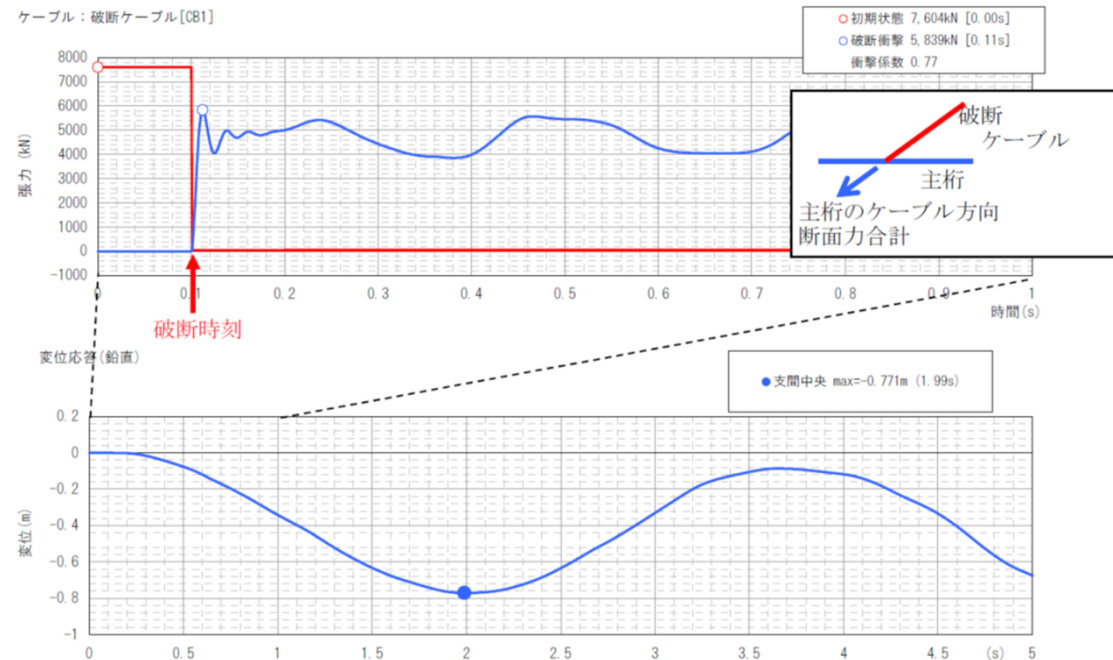
動的リダンダンシー解析／ケーブル破断時

◆側径間最上段ケーブル破断時の挙動(D+PS+ α L時に破断)



⇒活荷重満載状態でケーブル1本が破断した場合は主桁下フランジに $1.37 \varepsilon y$ のひずみが発生

⇒実事象として起こり得る活荷重半載状態でのケーブル1本破断では、周辺の主桁も降伏しないことを確認



危機耐性確保によるコスト影響

コスト比

事象	設計における取組み内容	コスト比※	備考	
想定外地震時 (M9～M10級)	①鋼製主塔の損傷制御	1.004	主塔工2基分	
	②主塔RC中空橋脚の損傷制御	1.034	橋脚工1基分	
L1・L2津波時	③主塔橋脚の船舶衝突時照査	1.000	橋脚工1基分	
	④洗堀対策(床付け位置設定)	1.005	基礎工1基分	
火災やケーブル への車両衝突時	⑤冗長性によるケーブル本数設定	1.000	ケーブル材料費	
	⑥ケーブル1本破断時照査	1.000	ケーブル材料費	
斜面変状時	⑦斜面変状を考慮した深礎基礎設計	1.026	橋台工1基分	
斜張橋工事費に対する比率		1.007	上下部工事費	

※コスト比は備考に記載の工種における対策工と標準工のコスト比のこと

⇒ **工事費全体のコスト増は0.7%**であり、狭義の耐震設計に留めず、脆性的な破壊回避のための危機耐性に取り組む意義は大きい