

令和 6 年能登半島地震による液状化被害と 災害レジリエンス ー石川県内灘町をモデルとしてのケーススタディーー

LIQUIFACTION DAMAGE AND DISASTER RESILIENCE IN THE 2024 NOTO PENINSULA EARTHQUAKE

-A CASE STUDY OF UCHINADA TOWN, ISHIKAWA PREFECTURE-

河内 義文¹・酒井 直樹²・鈴木 素之³・藤本 哲生⁴
Yoshifumi KOCHI, Naoki SAKAI, Motoyuki SUZUKI and Tetsuo FUJIMOTO

¹株式会社ケイズラブ (〒753-0212 山口市下小鯖 3533-4)

E-mail: yoshifumi.kochi@kslab.jp

²国立研究開発法人防災科学技術研究所 (〒305-0006 つくば市天王台 3-1)

E-mail: sakai@bosai.go.jp

³山口大学大学院創成科学研究科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: msuzuki@yucivil.onmicrosoft.com

⁴大阪工業大学工学部都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5 丁目 16 番 1 号)

E-mail: tetsuo.fujimoto@oit.ac.jp

Key Words: Liquefaction, lateral flow, disaster resilience, embankment soil, sea-level reclamation

1. はじめに

石川県河北郡内灘町は図-1 に示すように、令和 6 年能登半島地震の震央²⁾から南南西に直線距離で 104km に位置し、2024 年 1 月 1 日 16 時 10 分頃の本震時の震度は 5 弱を記録している²⁾。図-2, 3 に示すように、周辺の金沢市粟崎およびかほく市大崎町まで含めると南北に連なる 11.6km の範囲で液状化および側方流動が発生し、家屋 (1140 軒)、道路、上下水道を中心に甚大な被害が発生している。被災範囲の家屋は 50% を超えて危険 (赤) あるいは要注意 (黄) と判定され、そのままでの居住が困難な状況になっている。

地盤工学の視点で地史的背景を整理することで、被災原因を推定できるうえ、復興計画の一助になるものと考え本論文を執筆するに至った。



図-1 調査位置図(地理院地図¹⁾に加筆)

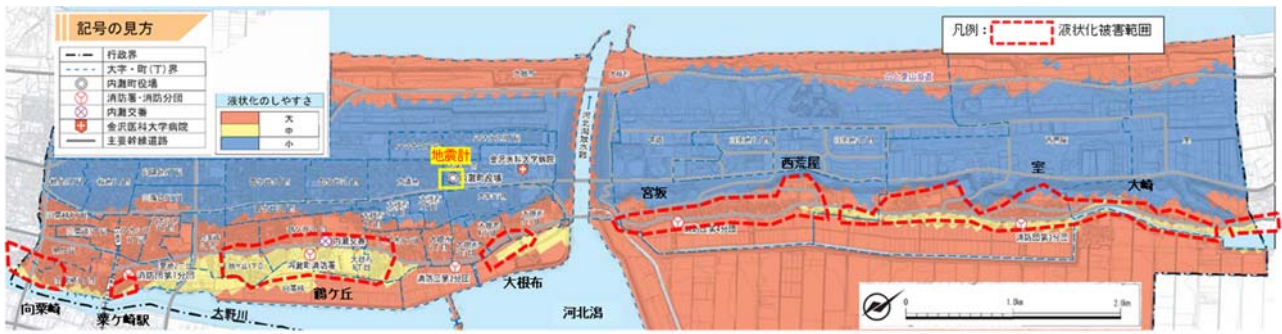


図-2 内灘町液状化危険区域マップ³⁾に液状化範囲⁴⁾を加筆

2. 令和6年能登半島地震と内灘町の被災状況

(1) 地震活動の概要

内灘町役場に設置されている地震計（石川県）の記録によると、表-1に示すように2024年1月1日16時10分頃の本震の際に震度5弱の揺れを記録した²⁾。この観測点は図-2に示すように、液状化危険区域マップ³⁾においても液状化危険度は小に分類されていることから、内灘町の砂丘周囲の低平地より揺れにくいものと推定され、同じく表-1に示すように、この観測点では2000年以降に余震を含めても、震度3以上は3回観測したに過ぎない。また、表-2に示すように、震度1以上の地震活動に関しては、2019年から2023年にかけて漸増する傾向にあったものと読み取れる。

(2) 地盤の液状化・側方流動の状況

内灘町では、前述したように震度5弱にもかかわらず、図-3に示すように旧河北潟西岸地域を中心に、大野川および河北潟西縁の金沢市粟崎からかほく市大崎に至る11.6kmの範囲で液状化が発生し、著しい側方流動も伴っている。図-2に示した内灘町の液状化危険区域マップ³⁾に図-3の液状化範囲⁴⁾を重ねると、液状化の範囲は液状化し易さ大～中の範囲に位置していることがわかる。

内灘町で住民にヒアリングしたところ、2024年1月1日16:10の本震後、余震に伴って、液状化による家屋の傾動が大きくなることを感じている。表-2に示すように、本震以降の地震活動は完全に鎮静化していないため、十分に観測はされていないものの、液状化は十分に収

表-1 2000年以降内灘町で震度3以上を観測した地震²⁾

発生年月日	時刻	規模	内灘町の震度
2007年3月25日	9:42	M6.9	4
2024年1月1日	16:10	M7.6	5弱
2024年1月1日	16:18	M6.1	3
2024年1月1日	16:56	M5.7	3

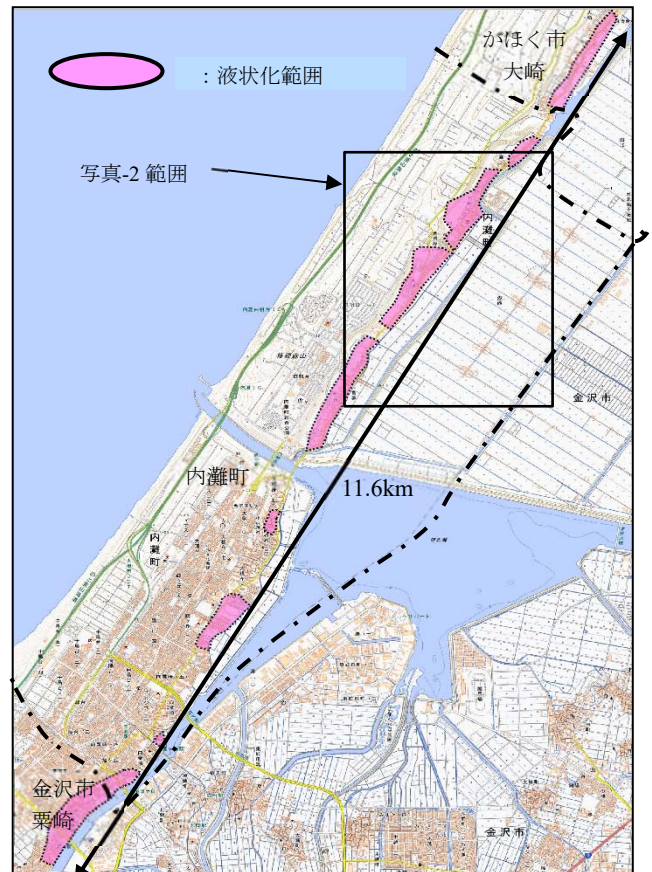


図-3 内灘町液状化被害範囲図
(地理院地図¹⁾に辺本氏データ⁴⁾加筆

まっていない可能性も示唆される。

(3) 危険度判定・罹災証明書の発行状況

内灘町では震災後ただちに避難所が開設され、避難者は1,800人となった。また、当日の断水世帯は7,000

表-2 珠洲市正院で観測した震度1以上の地震回数²⁾

年	震度1以上の地震回数
2024年1月～3月	291
2023年	227
2022年	196
2021年	71
2020年	9
2019年	9

世帯である⁵⁾。

2024年1月17日～21日に表-3に示す被災建築物応急危険度判定⁵⁾が1679件で実施され、危険(赤)が432件(25.7%)および要注意(黄)が436件(26.0%)となった。特に図-2に示す「西荒屋」,「室」地区では、危険(赤)が683件中274件(40.1%),さらに要注意(黄)が173件(25.3%)と両件併せて65.4%を占めている。

また、2月13日～21日間には、表-4に示す被災宅地危険度判定が1534件で実施され、危険(赤)が568件(37.0%)および要注意(黄)が379件(24.7%)となった⁵⁾。特に「西荒屋」,「室」地区では、危険(赤)が599件中317件(52.9%),さらに要注意(黄)は158件(26.4%)と両

件併せて79.3%を占めている。表-5に示すように罹災証明⁵⁾は1496棟に出され、その内訳は全壊111棟

表-3 建築物応急危険度判定結果⁵⁾

地区名	危険 (赤)		要注意 (黄)		調査済 (緑)		実施件数
旭ヶ丘	0	0.0%	1	11.1%	8	88.9%	9
向栗崎	18	15.8%	47	41.2%	49	43.0%	114
鶴ヶ丘	46	19.2%	71	29.6%	123	51.3%	240
大根布	4	2.7%	31	20.7%	115	76.7%	150
宮坂	85	20.0%	111	26.2%	228	53.8%	424
西荒屋	161	37.2%	98	22.6%	174	40.2%	433
室	113	45.2%	75	30.0%	62	24.8%	250
湖西	5	8.5%	2	3.4%	52	88.1%	59
合計	432	25.7%	436	26.0%	811	48.3%	1679

表-4 被災宅地危険度判定結果⁵⁾

地区名	危険 (赤)		要注意 (黄)		調査済 (緑)		実施件数
旭ヶ丘	5	41.7%	3	25.0%	4	33.3%	12
向栗崎	31	26.5%	32	27.4%	54	46.2%	117
鶴ヶ丘	61	26.9%	62	27.3%	104	45.8%	227
大根布	35	25.2%	32	23.0%	72	51.8%	139
宮坂	117	30.0%	90	23.1%	183	46.9%	390
西荒屋	211	51.7%	109	26.7%	88	21.6%	408
室	106	55.5%	49	25.7%	36	18.8%	191
湖西	2	4.0%	2	4.0%	46	92.0%	50
合計	568	37.0%	379	24.7%	587	38.3%	1534

表-5 罹災証明書 地区別集計表⁵⁾

地区名	全壊		半壊 (大規模半壊/半壊)		一部損壊 (準半壊/一部損壊)		合計
旭ヶ丘	3	8.3%	1	2.8%	32	88.9%	36
向栗崎	8	4.5%	37	20.7%	134	74.9%	179
鶴ヶ丘	14	5.7%	86	35.2%	144	59.0%	244
大根布	1	0.5%	36	19.8%	145	79.7%	182
宮坂	17	9.0%	112	59.3%	60	31.7%	189
西荒屋	47	16.7%	150	53.2%	85	30.1%	282
室	20	16.0%	68	54.4%	37	29.6%	125
湖西	1	5.0%	3	15.0%	16	80.0%	20
その他	0	0.0%	0	0.0%	239	100.0%	239
合計	111	7.4%	493	33.0%	892	59.6%	1496



写真-1 西荒屋～室間の液状化・側方流動

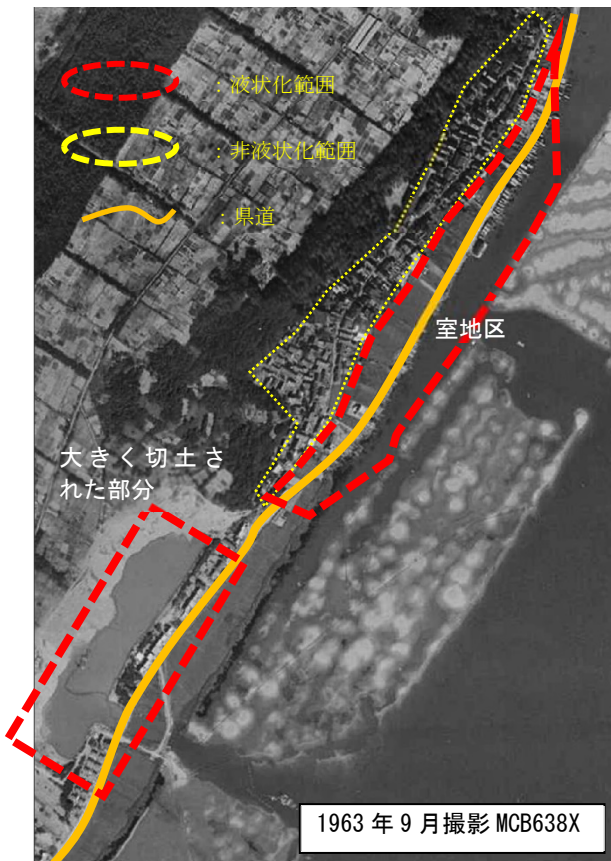


写真-2 干拓中(1960年代)と現在(2011年)の空中写真⁷⁾による比較(内灘町西荒屋～室)

(7.4%), 半壊 493 棟 (33.0%), 一部損壊 892 棟 (59.6%)である。宮坂, 西荒屋, 室地区では全壊および半壊併せて 414 棟である。西荒屋～室間 2.4km では, ほとんどの家屋, 宅地が被害を受けており, 写真-1 に示すように最大 12m 移動したとされる家屋もある(住民ヒアリングによる)。

3. 内灘町の地盤の歴史的背景と液状化の素因

この地域の地盤は, 1963 年から開始された農林省金沢農地事務所による直轄干拓事業⁶⁾で造成されたものであり, 1971 年に干陸化している。国土地理院で公開されている空中写真⁷⁾によると写真-2 左には干拓施工時の昭和 30 年代後半砂丘を切土し, サンドポンプ工法によって河北潟に客土して農地造成を行っている様子がうかがえる。また黄色のラインで示される県道 167 号(松任宇ノ気線)に沿っては, 県道東側は河北潟西岸に盛土を腹付けて宅地造成されている。河北潟干拓地の農地耕作面の平均標高は-2.1m とされているので, 常時ポンプ排水が必要な状況である。東側に広がる干拓農地耕作面と遊水池, 水路を挟んで対岸の液状化した腹付け盛土範囲においても元来排水し難い標高にあるため地下水位が常時高いものと推定される。また写真-2 には液状化範

囲を赤破線で示したが, 1963 年と 2011 年を比較すると 1963 年には液状化範囲にはほとんど家屋はなかったことがうかがえる。さらに, 液状化被害が著しい西荒屋小学校周辺は, 砂の供給地として大きく切土されていたようである。また黄色破線で示した干拓前からの住居地には顕著な液状化の被害も起きていない。液状化の範囲内で採取した土質材料で粒度試験を実施した結果を図-4 に示すが, いずれも細砂～中砂が主体であり, 均等係数 U_c は 2 程度, 曲率係数 U_c' は 1 程度の分級された砂であることがわかる。一般に盛土に用いる場合, 粒度が揃って細粒分を含まないことで締固め難い土質状況であり, また前述のように常時地下水位も高いことが推定され, 液状化し易いものであったと推定される。

また液状化は標高-2.1m で概ね水平な干拓農地内でも発生している。その粒度分布は同じく図-4 中(湖西町レンコン畑)に示すとおり 0.1~0.4 mm で液状化し易い範囲であった。一方で, 干拓農地内では側方流動は発生していないことから, 河北潟西縁地区の地盤傾斜(1~5%)あるいは, 盛土下の基盤粘土層上面が緩く東傾斜していることが, 素因の一つであるものと推定される。

4. 地盤工学が提供できる内灘町における災害レジリエンス

(1) 二次災害リスク情報の提供

3 章で示したように, 内灘地域で液状化・側方流動した地盤背景の大部分を占めるのは, 干拓事業で盛土された砂丘砂起源の砂質材料であり, 家屋およびインフラ被害を生んだ素因である。当時のわが国における最先端の知見および科学技術を用いて実施した農林省直轄事業だといえども盛土が計画設計されたのは 1960 年~1962 年で, 施工されたのは 1963 年~1971 年であった⁶⁾。液状化という概念がわが国の地盤工学に登場するのは, 1964 年 6 月 16 日新潟地震がきっかけである⁸⁾。新潟地震における液状化

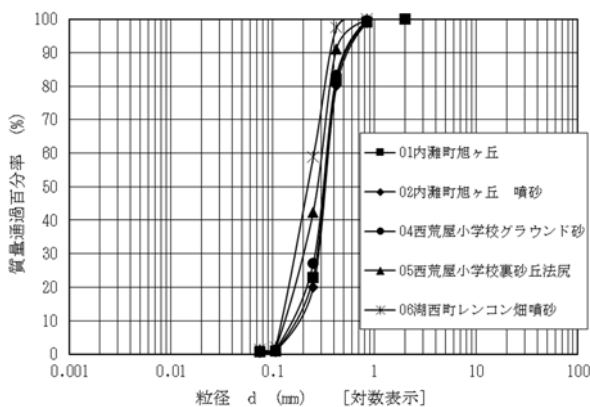


図-4 内灘町で採取した地盤材料の粒径加積曲線

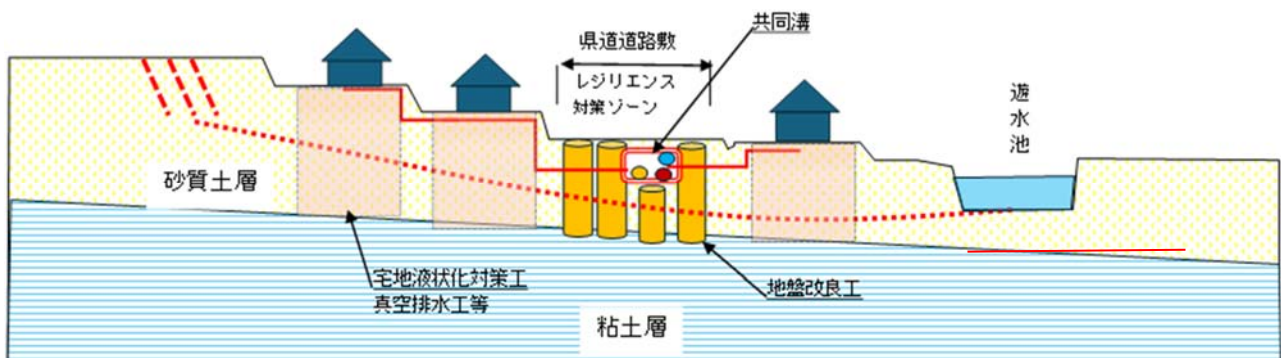


図-5 公共用地を利用したレジリエンス対策ゾーンの素案



写真-3 家屋基礎柱状改良と周辺地盤の側方流動

現象は世界から注目され、この被害を契機に液状化現象の研究が本格的に開始されるようになったので、河北潟干拓事業に際しては液状化の概念は考慮されていなかったものと推定される。また液状化が発生した盛土に関しても、液状化後の再堆積による地盤の緊密化はある程度は行えたとしても、締め固まったとは言い難い状況である。したがって、今回液状化が発生した盛土に関しては、再度比較的大きな振動を伴う地震が発生した場合は、再液状化リスクは残っているものと推定される。

内灘町および周辺地域では、1,000戸を超える家屋が公費解体制度の利用を希望している。一方で、解体・撤去が進むと、一旦は図-2、図-3に示すように県道167号に沿う形状の細長い更地が形成されることになるが、液状化対策・レジリエンス対策は、この更地化した範囲を利用できるタイミングで実施することが可能である。

(2) 地盤状況を考慮したインフラ、宅地などの復旧(対策)工法の提案

a) 側方流動対策

図-2および図-3に示すように、被災区間は南北に細長く広がっているが、県道176号に沿って広がっているという特徴を持っている。したがって、対策工も側方流動対策に関しては、この公共用地である県道を利用して実施することが可能であり、また上下水道などの線状インフラが配置される県道敷を直接補強する効果も有する。この公共用地を利用したレジリエンスゾーン構築と側方流動対策を併せて実施する工法素案を図-5に示す。写真-3は内灘町室の側方流動地内で撮影した基礎柱状改良を施工した家屋の被災状況である。直径 $d=600$ mm程度の柱状改良が施工間隔 $D=2.0$ m程度のピッチで配置されている。しかし、側方流動は改良柱間を中抜けして基礎部の

砂質土は写真右側、すなわち標高の低い遊水池側に流亡している。通常の砂質土であれば、摩擦によって柱状改良ピッチ $D < 8d$ であれば中抜けしないものと推定されるので、液状化発生時に関しての中抜けについては、従来基準の範囲を超えるものとして今後議論する必要がある。この事例を踏まえると、図-5に示す側方流動対策工法についても、柱状地盤改良工法や鋼管杭工法を用いる場合は、側方流動時には中抜けしない間隔で実施する必要がある。また、この案では共同溝をレジリエンスゾーンの中央部に配置することを提案した。

また、図-2に示すように、ハザードマップでは液状化危険度が大きであっても液状化していない区間もある。なぜ液状化しなかったのか、土質・地下水などを調査し、この区間を液状化に強いインフラのハブとして利用できるものとする。

b) 宅地の液状化対策

今後、地震活動の鎮静化によって再度の液状化の恐れは漸次的に小さくなるものと推定される。ただし、住宅再建後の耐用年数内の液状化発生は確率的評価やスペクトル観ではなく、二分観すなわち成否のみで評価される。住民ヒアリングによると、余震で変形が進行したとされる。本震直後は震度3程度で短い継続時間でも再液状化するものと推定される。経時的に地盤状態が安定すると収束するものと推定されるが、宅地地盤についても更地後に液状化対策を行う必要がある。

宅地の液状化対策は、家屋の傾動抑制とインフラインプット部補強対策の2つの対策から構成される。既に写真-3に示される家屋基礎柱状改良は側方流動には効果が小さいことが示されるが、傾動抑制には一定の効果を発揮しているものと評価される。したがって、既に液状化によって地盤支持力も評価できない上、基礎地盤は非常に深いことから、柱状改良あるいは真空排水工法などで傾動対策・支持力対策を実施することで液状化対策としても効果があるものと期待できる。

また道路に設置するインフラ本線からのインプット部補強対策としては、十分な靱性を持つダクタイル管やコルゲード管等、変形に追従する管路を選定する必要がある。

(3) 今後の街づくりへの提案

2120年にはわが国の人口は3000万人になると言われている⁹⁾。また、それに伴って地方10万都市は1/3~1/2減少するとされ、金沢都市圏は、気候的な不利もあり、50万都市圏を維持するのは難しいと考

えられている⁹⁾。内灘町は、金沢市のベッドタウンとして独立行政で発展してきた。図-6に示すように、近年、人口・世帯数ともに石川県、北陸地域の減少傾向に反して維持されてきた。しかし地震では、震源から遠いにもかかわらず発生した液状化・側方流動によって、宅地危険度判定の危険および要注意に判定され、公費解体対象家屋は947軒となり、全世帯数を10,800世帯とすると9%となる。自然減では1割近く減少するのは30年後と予測され、この地震で住居地を失うことは、地域30年分の前倒し状況を許容しなければならないことになる。

そこで、地震をバネに強靱に復興する町づくりを行うことによって、金沢都市圏を支えることが可能になるように配慮する施策について考える。

a) 災害レジリエンスの観点から強靱化される県道

前述のように、液状化・側方流動の発生した県道は、地盤改良され、むしろ強靱な災害レジリエンスベルトとしてインフラの背骨としての役割を持つ。またこの路線は、冬季の北西季節風の影響も受けないので、むしろ主要道路となりうる。

b) 連携・行政機能の強化

内灘砂丘の河北潟沿岸、すなわち東側は、標高約50mの砂丘の後背地であり、環境的にも安定した住居区域である。私鉄(北陸鉄道浅野川線)路線も1925年から100年にわたって金沢駅と内灘を結んでおり、北陸地域の発展を支える金沢市のいわゆるベッドタウンとして25,000人(約5%)の人口を抱える重要な地域である。さらに、地域医療を担う金沢医科大学の地域医療インフラとしての価値も大きい。石川県復興計画では「美しい自然と歴史が培った文化」がキーワードとされている。このためにも、平時から有事に備える災害レジリエンスを強化した復興計画を立案することが重要である。

謝 辞

内灘町の辺本良治氏には、貴重な調査結果を提供いただいた。また内灘町向栗崎で被災された福井麻弓氏には、現地状況のヒアリング、現場案内などに対応いただいた。ここに記して謝辞を表す。

参考文献

- 1) 国土地理院地図：地形図,
<https://maps.gsi.go.jp/#11/36.655475/136.768112/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c0g1j0h0k010u0t0z0r0s0m0f0>, 2024. 5. 10.
- 2) 気象庁：地震データベース,
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/>

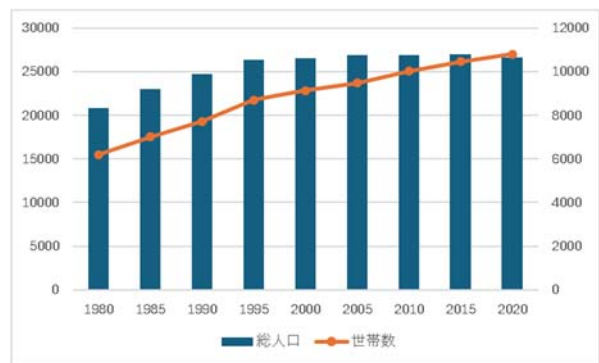


図-6 内灘町の総人口・世帯数の経年変化¹⁰⁾

[index.html](#), 2024. 5. 10

3) 内灘町液状化危険区域マップ：

<https://www.town.uchinada.lg.jp/soshiki/toshi/1734.html>, 2024. 4. 20

4) 辺本良治：液状化マップ「伝えよう・・・明日へ」(紙資料), 2024

5) 内灘町：令和6年能登半島地震住民説明会資料, 2024. 3.

6) 内灘町ホームページ：河北潟干拓事業, <https://www.town.uchinada.lg.jp/soshiki/soumu/2702.html>, 2024. 5. 10.

7) 国土地理院空中写真：<http://maps.gsi.go.jp>, 2024. 4. 20.

8) 防災科学技術研究所, 1964年新潟地震特設オープンサイト：<https://ecom-plat.jp/19640616-niigata-eq/>, 2024. 5. 10

9) 森知也：100年後の日本の中心はどこに？経済集積理論が予測する人口減少下の日本の都市と地域の未来, 独立行政法人経済産業研究所, 2024. <https://www.rieti.go.jp/jp/special/af/093.html>, 2024. 5. 20.

10) 内灘町ホームページ：2021年版内灘町統計書, <https://www.town.uchinada.lg.jp/site/statistics/10230.html>, 2024. 5. 10

(2024. 5. 31 受付)