

テーマ3 神戸 JIBANKUN の活用 目次

1.	はじめに	1
2.	研究の概要	2
2.1	研究の概要	2
2.2	研究のメンバー	4
2.3	研究の流れ	4
3.	神戸 JIBANKUN	8
3.1	神戸 JIBANKUN とは	8
3.2	アンケートの実施と結果・評価	12
3.3	新たなアプリケーションの開発に関する提言	17
4.	具体的な活用方法の提案	19
4.1	地盤図に関する動き	19
4.2	地盤図を用いた研究	20
5.	地盤図による下水道管渠を対象とした健全度の評価と予測に関する研究	22
5.1	研究の背景	22
5.2	これまでの公共下水道管路（污水）の分析概要	24
5.3	検討・研究の流れ	45
5.4	モデル地区の地形・地質	46
5.5	モデル地区の地盤性状	50
5.6	モデル地区の縦横断変化に対する地盤と下水道管渠の健全度の関係	53
5.7	地盤特性と管渠の異常について	60
5.8	検討課題とその関連性	62
5.9	地盤の液状化特性との関連性	64
5.10	まとめと今後の課題	69
6.	空洞調査に基づく陥没等の災害予測に関する研究	70
6.1	神戸市内の路面下空洞データの抽出および評価	70
6.2	空洞発生メカニズムの分類および事例分析	74
6.3	空洞発生箇所における地下水位の状況	89
6.4	交通量および人口数による空洞発生箇所の傾向分析	92
6.5	污水管による空洞発生箇所の傾向分析	94
6.6	分析結果および考察	98
7.	今後の課題	100

1. はじめに

本研究は「神戸 JIBANKUN」の活用をテーマとして3年にわたり取り組んだものである。本テーマは平成22年～24年において取り組まれた「地質構造・神戸 JIBANKUN 分科会」を受けてその活動を継続・発展させたものであり、その流れは平成11年3月に設立された「神戸の地盤研究会」のツールの一つである「神戸 JIBANKUN」へとさかのぼることとなる。

「神戸 JIBANKUN」は発足当時の目的を経て、現在、柱状図の閲覧を中心とした地盤情報の取得ツールとして利用が盛んである。一方、情報閲覧にとどまらず、これまでより得られた神戸市域の地盤情報を用いた広域あるいはミクロな地盤情報として、インフラ施設の維持管理や減災への取り組みと連動・連携したハイブリッドな利用へとさらなる発展が見込まれるものである。

本研究テーマはそのような視点から、「神戸 JIBANKUN」のより一層の利用を目的として取り組んだものである。しかしながら、その成果は研究期間と取り組み内容の困難さから、十分な結論を得たとは必ずしも言い得ず、今後の継続的な研究へとその発展をゆだねることとなる。

2. 研究の概要

2.1 研究の概要

本研究は、平成 11 年 3 月より、神戸市域の地盤情報を収集・利活用して様々な研究を行うツールの 1 つとして開発され、その後、運用がなされている「神戸 JIBANKUN」のより一層の活用をテーマとしたものである。

「神戸 JIBANKUN」は、主に神戸市域のボーリングデータを検索・閲覧するシステムであり、地下深部の地盤情報を得ることができる。それらの研究成果は神戸の地盤研究会等のメンバーによる研究成果であり、かつ神戸市民の財産でもある。現在、「神戸 JIBANKUN」は、地盤情報を得るためのツールとして土木・建築分野を中心として活用されているが、その活用分野は決して多岐に渡っているとは言い難い。

よって、本研究テーマ 3 では、この「神戸 JIBANKUN」のより一層の活用のための方策として、大きく以下の 2 点から研究を進めた。

①「神戸 JIBANKUN」のより一層の活用のための新たなアプリケーション開発に関するもの

②「神戸 JIBANKUN」の具体的な活用方法の提案と研究に関するもの

また、②については、さらに下記の 2 つのテーマから研究を進めた。

- ・地盤図による下水道管渠を対象とした健全度の評価と予測に関する研究
- ・空洞調査に基づく陥没等の災害予測に関する研究

①の「神戸 JIBANKUN」のより一層の活用のための新たなアプリケーション開発に関するテーマでは、現行ユーザーへのアンケートを実施し、現在の利用状況や今後の利用についての要望などを調べ、今後の「神戸 JIBANKUN」のあるべき姿について提言を行うこととした。

「神戸 JIBANKUN」はその開発・運用から既に 20 年近くが経過しており、その間の情報通信技術の進歩は目まぐるしく、利用環境も大きく変化した。しかしながら、その基本データである神戸市域の地盤情報は非常に貴重で大きな共有財産でもある。ここでは、これをさらに有効活用するためのツールやハード面での対応について現状の課題をまとめ、今後の理想的な形について議論を加えた。

②の「神戸 JIBANKUN」の具体的な活用方法の提案と研究は、「神戸 JIBANKUN」のボーリング等による地盤情報を活用して、社会インフラの維持管理や災害予測などを効果的・効率的に行うことを目的としたものである。その具体的な活用や運用を事例的にを行い、その成果から活用方法を提案するものであり、テーマは、1) 神戸市域の下水道管渠の維持管理に関する利用についての研究、2) 路面下の空洞の発達による道路等の陥没による災害予測への利用についての研究である。

神戸市域の下水道整備は高度成長期に集中してなされ、高度成長期以降も順次その整備が進められているが、たとえば、污水管渠の布設延長は概ね 4000km に及んでいる。当然、それらのうちのいくらかで老朽化が進み、補修や更新がなされているものの、老朽化の程度やその進行具合に関し、地盤特性との関わりがあるのか否か、もし地盤特性との関わりがあるのであれば、その面から維持管理への取り組みや今後の計画へのアプローチが可能であると発想されたことから研究をスタートさせたものである。よって、このテーマを「地盤図による下水道管渠を対象とした健全度の評価と予測に関する研究」とした。

また、現在は社会インフラの整備が進んで高度化し、我々の社会も成熟したが、一方でこれまでに整備された社会インフラの老朽化による不具合の発生が懸念され、一旦不具合が生じるとその社会的影響が非

常に大きなものとなっている。特に、交通インフラの遮断が我々の生活に与える影響は大きく、かつ、それらを要因とした人的被害の発生などは社会的に許容されるものではない。昨今、土木工事中に生じた道路路面の大陥没が大きく報道され、その社会的影響がにわかに注目されることとなったものの、これまでより道路路面下の空洞の発達により道路面に陥没が生じることは良く知られていた。その空洞の発達と地盤特性や地下埋設物などとの関わりについて知ることは、災害の未然防止に繋がり、我々の所有する社会資本を健全に利用して行くための大きな知恵になると考え、二つ目のテーマを「空洞調査に基づく陥没等の災害予測に関する研究」とした。

これらの研究はいずれも「神戸 JIBANKUN」の地盤データを活用している。いわゆる地盤データの具体的な活用方法を、事例的に言い、その成果を報告することで、「神戸 JIBANKUN」の具体的な活用方法の提案と研究に関するテーマに答えるものであり、地盤データの活用事例の報告とするものである。

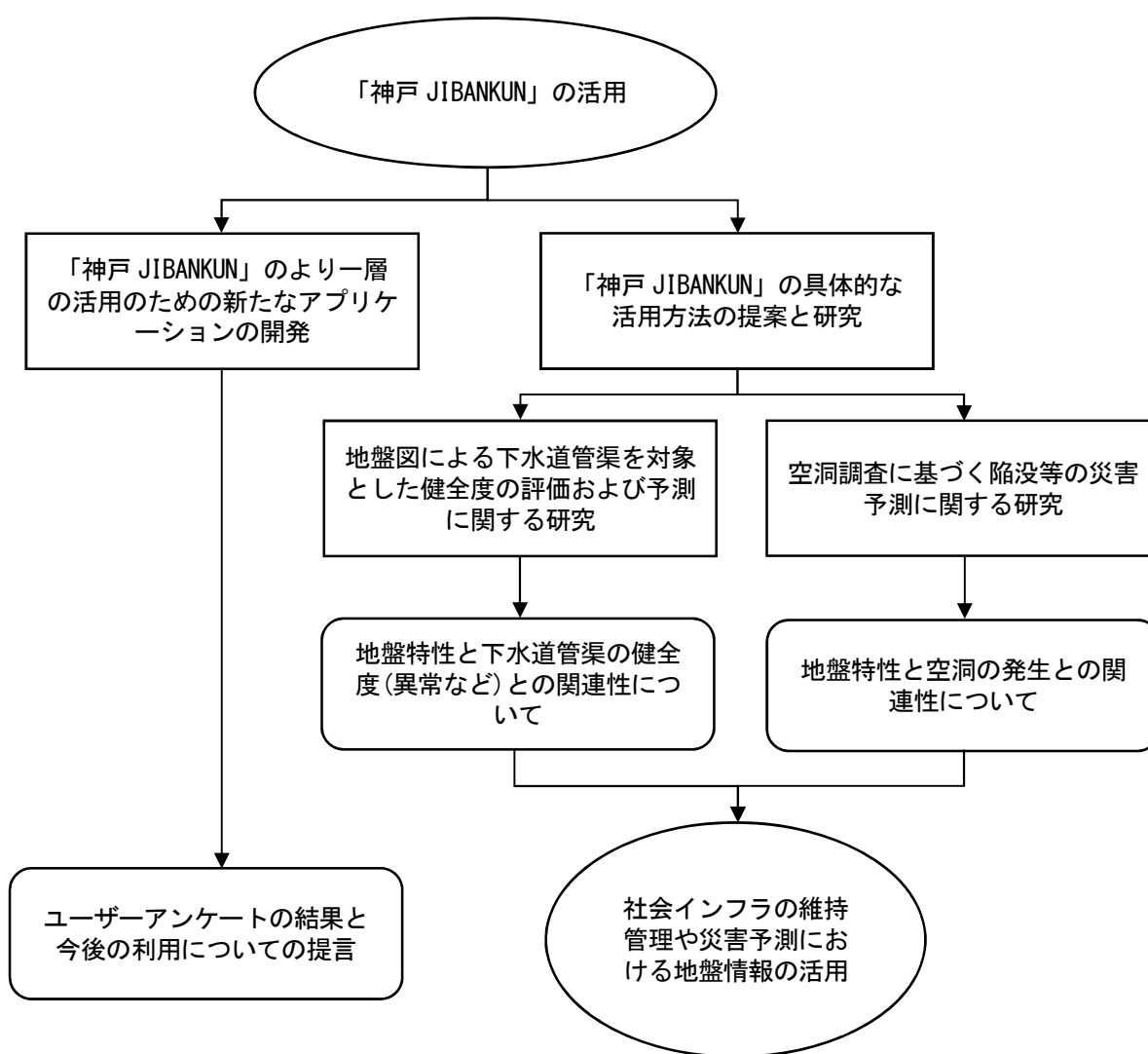


図-2.1.1 研究テーマの概要

2.2 研究のメンバー

本テーマの研究メンバーは、下記の通りである。

協和設計株式会社	西岡 孝尚
協和設計株式会社	田中 正吾
株式会社昭和設計	小畑 博之
株式会社昭和設計	峯山 恵光
中央開発株式会社	前田 直也
中央開発株式会社	岸田 浩
中央復建コンサルタンツ株式会社	八谷 誠
阪神コンサルタンツ株式会社	末廣 匡基
ジオ・サーチ株式会社	秋元 章
三造試験センター	三宅 啓介
神戸大学工学部	白 濟民

2.3 研究の流れ

本研究は、そのスタートにあたり研究メンバーと神戸市との事前協議により行政ニーズを把握した上で、テーマを設定した。また、研究方針やその具体的作業の方法などについて澁谷啓会長のご指導を得た。

「地盤図による下水道管渠を対象とした健全度の評価および予測に関する研究」については、神戸市下水道部との事前協議や研究が進捗するにあたり2回の協議を実施している。

「空洞調査に基づく陥没等の災害予測に関する研究」については、神戸市建設局道路課との協議により研究テーマの方向性を確認している。

図-2.3.1 に研究の枠組みを示す。いわゆる産官学の取り組みとして、行政のニーズをシーズとして認識し、それを反映させるテーマを抽出した上で、学識者による基礎技術のフィルターを通じて、その取り組みの方向性や手法の方法を検討して作業を進めた。この際、当然、メンバーの討議により市民の目線から研究の有益性を検証することは怠ってはいない。

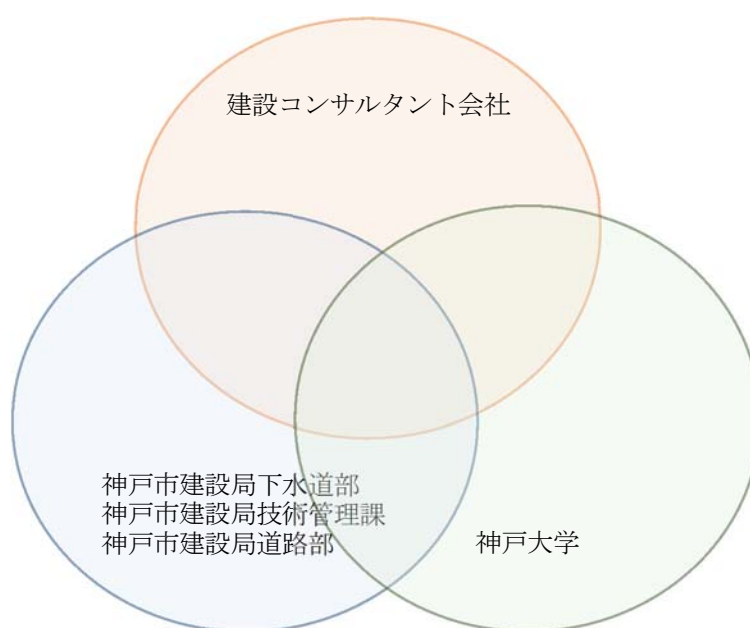


図-2.3.1 研究の枠組み

■神戸市との協議内容と概要

本研究の枠組みは下図の通りであり、それぞれの話し合いの経緯を下に示す。

○平成 27 年 7 月 14 日（火） 9：30～10：30

- ・ 打ち合わせ場所 : 神戸市建設局道路部技術管理課
- ・ 参加者 : 神戸市建設局下水道部保全課・計画課
神戸市建設局技術管理課
テーマ 3 研究メンバー
- ・ 打ち合わせ内容 : 下水道施設の維持管理に関する研究内容の説明と確認
下水道管理者からの要望事項の確認
次期研究テーマ
: 神戸 JIBANKUN を活用した下水道管渠の健全度予測に関する研究
研究の目的

: 神戸市は昭和 26 年に近代式下水道の整備事業に着手し、現在の公共下水道（汚水）管路施設は、約 4,050 km の膨大なストックを抱えている。管路施設のうち、標準耐用年数 50 年を超過したものは全体の約 2% に留まるが、管年齢 30 年を超過した管路は、全体の約 60%（約 2,500km）に達する。これらの膨大なストックは、日々劣化し、維持修繕や改築のコストの増大を招くとともに、機能不全のリスクもはらんでいる。さらに、管路の老朽化による破損に起因する道路陥没等も増加することが危惧される。

神戸市では、管路調査を行い健全度評価や緊急度判定により、計画的な補修・更新を進めているところであるが、調査～評価・判定に時間と費用を要し、なかなか進んでいない状況である。

本研究では、神戸 JIBANKUN を活用し、地盤と管路破損との関係性を見出し、健全度の低下が予測される地域から、より効率的・効果的な調査～評価・判定を進める優先度の一因として、寄与する研究とする。

まずは、モデル地区を 2、3 箇所選定し、JIBANKUN データと下水道管渠の健全度との対比を試みるところを出発点とし、その結果を見て、今後の方向性を検討する。

○平成 28 年 5 月 10 日 13：00～14：00

- ・ 打ち合わせ場所 : 神戸市建設局下水道部管路課
- ・ 参加者 : 神戸市建設局下水道部管路課
神戸市建設局技術管理課
テーマ 3 研究メンバー
- ・ 打ち合わせ内容 : 研究内容の説明と確認
下水道管理者からの要望事項の確認
 - ① 地盤特性の異なる海側と山側で管渠の耐用年数の違いを見出せないか？
 - ② 阪神大震災前後での管渠耐用年数の違いを見出せないか？エリアを絞って地盤と下水道管渠（汚水）の異状との関連性（試行）

要望事項を満足するための研究箇所を選定

○平成 28 年 11 月 18 日（金）17：00～19：00

- ・ 打ち合わせ場所 : 協和設計株式会社 神戸支店
- ・ 参加者 : テーマ 3 研究メンバー
- ・ 打ち合わせ内容 : JIBNKUN アンケートの依頼について
「下水道管渠を対象とした健全度の評価および予測に関する研究」の今後の進め方及び役割分担とスケジュール調整
研究発表会の題目について



○平成 29 年 4 月 25 日（火）10：30～11：30

- ・ 打ち合わせ場所 : 神戸市建設局下水道部管路課
- ・ 参加者 : 神戸市建設局下水道部管路課
神戸市建設局技術管理課
テーマ 3 研究メンバー
- ・ 打ち合わせ内容 : 平成 29 年 1 月 23 日の災害対策セミナーにて発表した内容を説明・確認
今後の検討課題の対応
モデル地区における管路調査結果と液状化マップとの重ねによる分析
空洞化調査との関連
平成 29 年 7 月 9 日の「42 年 7 月豪雨災害 50 年シンポジウム(仮称)」において、本研究を発表する予定である。

○平成 29 年 6 月 23 日（金）14：00～16：00

- ・ 打ち合わせ場所 : 神戸大学工学研究科棟 2 階 中会議室
- ・ 参加者 : 澁谷啓, 中西典明, 八谷誠, 桑野玲子, 片岡沙都紀, 西岡孝尚, 田中正吾, 前田直也, 峯山恵光, 瀬良良子, 鈴木洋司, 秋元章, 白済民, 丁経凡
- ・ 打ち合わせ内容 : 1. テーマ 3 の研究内容についての確認
 - ① 「より一層の活用のため 新たなアプリケーションを開発」
 - ② 具体的な活用方法の提案と研究2. 「下水道管渠を対象とした健全度の評価および予測に関する研究」進捗
3. 「空洞調査と下水道管渠の維持管理について（仮）」
議題：取り組み方針と内容
取り組みの体制
テーマ 3 との関わりについて
神戸市との関わりについて

○平成 29 年 11 月 21 日（火）10：00～11：00

- ・ 打ち合わせ場所 : 神戸市建設局技術管理課
- ・ 参加者 : 神戸市建設局下水道部管路課

神戸市建設局技術管理課

テーマ3 研究メンバー

- ・ 打ち合わせ内容 : テーマ3 の活動状況と研究内容の追加について説明

神戸 JIBANKUN の活用として、具体的な活用方法の提案と研究を実施している。現在、「下水道管渠を対象とした健全度の評価および予測に関する研究」に取り組んできた。今後は新たなテーマとして、「空洞調査に基づく陥没等の災害予測」の研究を進めている。具体的には、神戸 JIBANKUN のデータより作成した神戸大学「広域3次元地形・地盤モデル」を利用し、下水道管渠（污水）の異状と空洞発生との関連について、研究を進めている。今後は上記の神戸市下水道部から使用の許可を得ているデータ（平成26年度データ）を最新の平成29年度データに変更し、さらに、緊急輸送道路や河川沿いの路線などで実施している工務課の空洞調査データを取り込むことで解析データ数の充実を図り、様々な空洞発生事例をベースに研究を進めたいと考えている。

「空洞調査に基づく陥没等の災害予測」の研究に対する協力の依頼

現在、神戸市建設局下水道部管路課で委託している「神戸市下水道管路施設維持管理計画（ストックマネジメント計画）策定業務」における平成29年度版下水道（污水）データは、本研究開始当初の平成26年度版よりも、管内調査結果が追加されており、研究における解析データ数が多くなることより、最新のデータを使用させていただきたいと考えている。

3. 神戸 JIBANKUN

3.1 神戸 JIBANKUN とは

神戸 JIBANKUN は、阪神・淡路大震災の後、神戸市域の地盤情報を収集・利活用して様々な研究を行うツールの1つとして開発された。開発は、現在の神戸 JIBANKUN 運営委員会のメンバーである、神戸市・(財)建設工学研究所・(株)ドーン・中央開発(株)であるが、柱状図や液状化マップなどの格納されているデータは、関西地域の産官学団体に所属する有志メンバーによるボランティア作業で電子化(入力・作成)された。

(1) パソコン版 (平成11年3月～)

神戸 JIBANKUN は、開発当初の WindowsNT3.51 上で動作する Windows アプリケーションとして開発され、ボーリングデータを含む様々な研究成果は神戸の地盤研究会等のメンバーによる研究成果として、取りまとめ・発表されている。

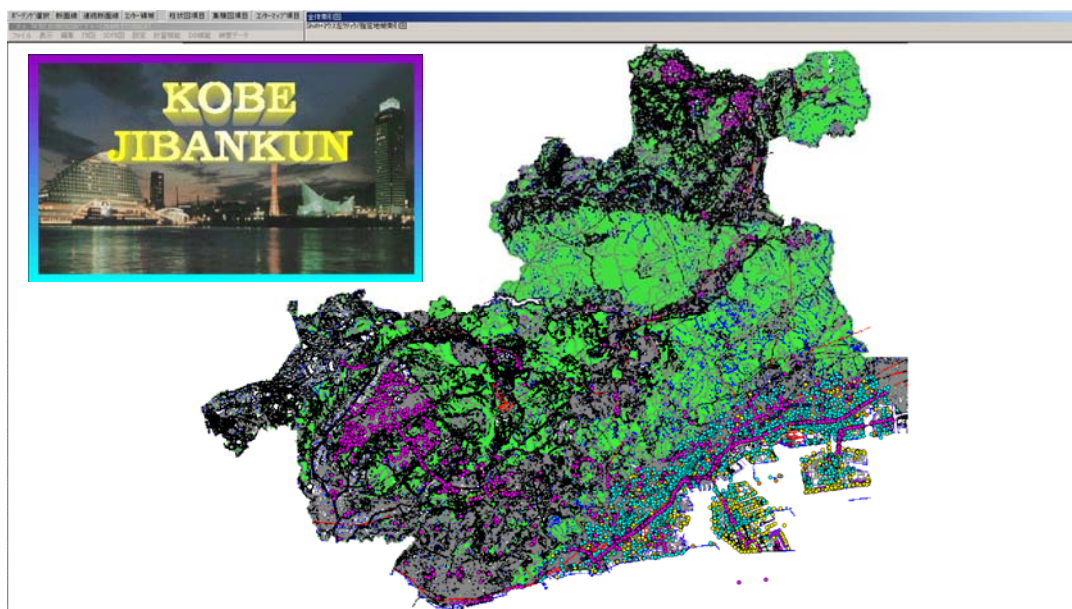


図-3.1.1 PC版JIBANKUNの初期画面例



図-3.1.2 減災研究会の報告書のイメージ

(2) WEB版（平成25年4月～）

パソコン版の開発から10年以上が経過し、動作可能なWindowsOSが旧式化してきた事が課題であった。古いPCの維持が難しくなってくること、セキュリティの更新が終了したWindowsを利用し続けることの問題等を踏まえ、新たなアプリケーションを開発することを運営委員会で検討し、当時のパソコン版ユーザーへのアンケート結果を考慮して、開発方針を決定した。

アンケートの結果、利用内容の多くはボーリングデータの閲覧であり、その他の機能の利用度は低いことが分かった。そのため、柱状図等のデータの管理・保管を主目的としたシステムとすることとした。

運用面では、パソコン版は、ソフトウェアのインストールが難しく、一定期間毎に行われるボーリングデータの更新が煩雑であることが課題であった。

さらに、近年のインターネット環境の高速化・普及状況を考慮して、パソコン上でのWEBブラウザによる柱状図閲覧の為のシステムを構築することとした。

■ システム概要

現在のWEB版神戸JIBANKUNの概要を以下に示す。

- ・適用範囲：神戸市内
- ・ボーリング登録本数：概ね6000本
- ・背景地図：電子国土（標準地図、空中写真、OpenStreetMap、DMデータ）
- ・表示可能項目：微地形区分、宅地擁壁被害、地質図、噴砂図などを重ね合わせて表示

■ 利用方法

WEB版神戸JIBANKUNは「神戸JIBANKUN運営委員会」が所有・運営・管理している。利用希望者は、「神戸すまいまちづくり公社」に契約利用申し込み(年間利用料(¥20,000-))を行い、事務局からログイン用のIDとパスワードを受領し、神戸JIBANKUNのHPからログインして利用することができる。

■ 現在のメンテナンス状況

システムのメンテナンス、ボーリングデータの登録等を主なメンテナンス項目としている。年一回程度の頻度で、神戸市発注・実施済みのボーリングデータを、運営委員会でデータ審査を行った上で追加登録している。

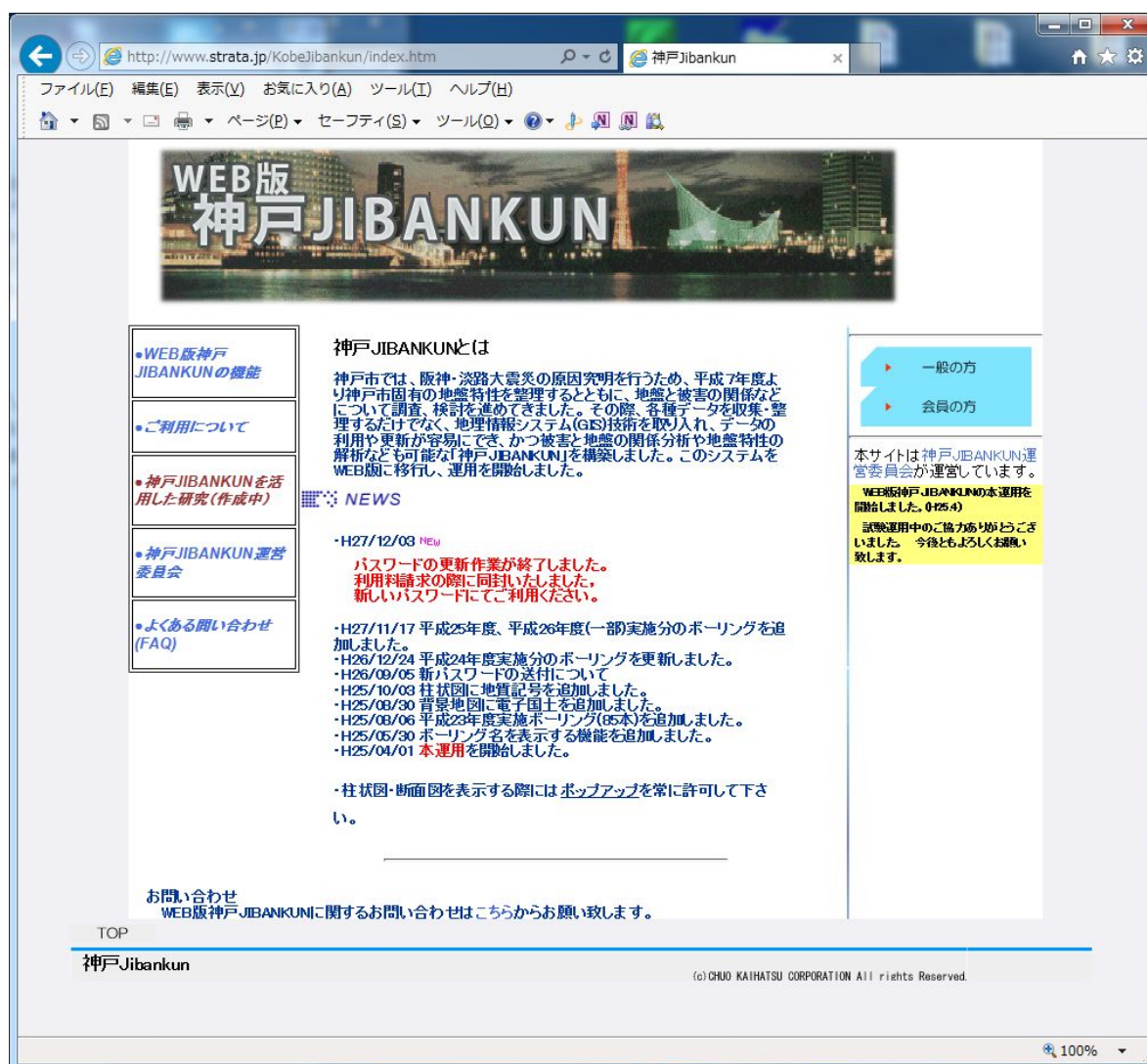


図-3.1.3 トップ画面

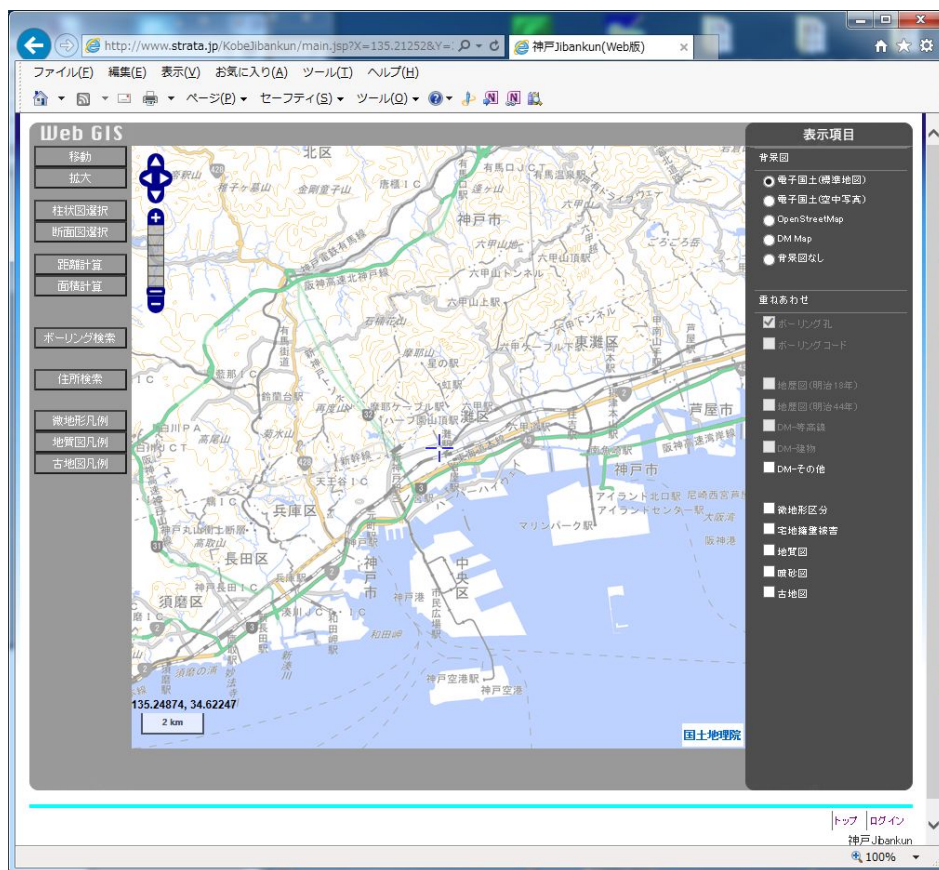


図-3.1.4 初期画面表示

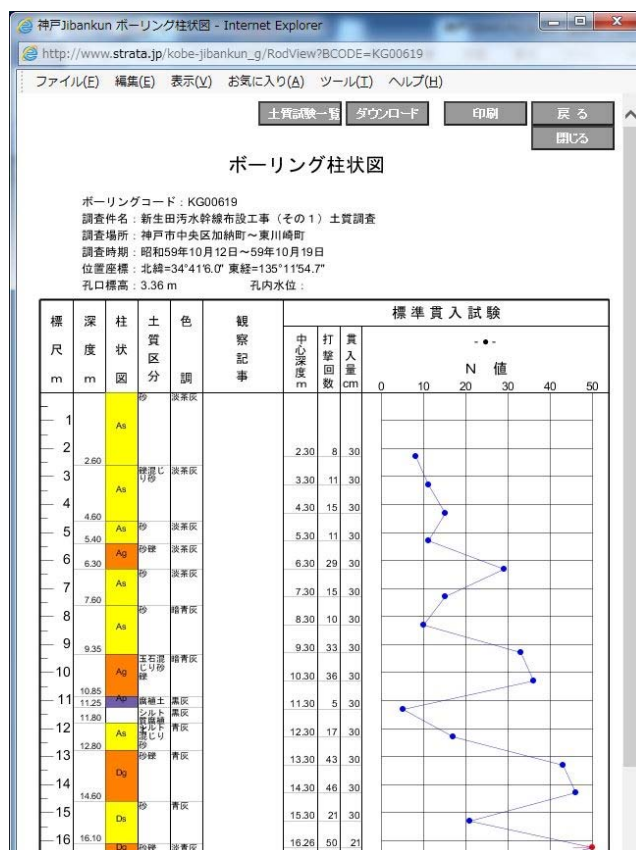


図-3.1.5 柱状図

3.2 アンケートの実施と結果・評価

平成29年2月に、神戸JIBANKUNユーザーに対して、以下のアンケートを実施した。

一般財団法人 建設工学研究所内「神戸の減災研究会」宛て

Fax : 078-851-5454

E-mail : office@kensetsuk.or.jp

神戸JIBANKUN利用者アンケート

アンケートについて

本アンケートは、「神戸の減災研究会」における研究テーマの一つである、現在、運営されています「神戸JIBANKUN」の維持・発展に資する調査・研究のために、「神戸JIBANKUN」の利用実態を把握し、今後の維持・発展を目的とした再構築の検討材料とするために実施するものです。
本アンケートは、上記の目的以外には利用いたしません。

会社名		所属名	
記入者の名前		電 話	
FAX		E-Mail	

1. 神戸JIBANKUNは、どれぐらいの頻度で利用していますか？

<input type="checkbox"/> ほぼ毎日	<input type="checkbox"/> 1週間に数回	<input type="checkbox"/> 1ヶ月に数回	<input type="checkbox"/> 年に数回	<input type="checkbox"/> 現在は利用していない
質問3へ				質問2へ

2. 現在利用していない理由について、該当するものにチェックを入れてください。

<input type="checkbox"/> 業務で利用する必要がなくなったから	<input type="checkbox"/> 欲しいデータやメニューがJIBANKUNに無いから
<input type="checkbox"/> JIBANKUNの操作方法が分からないから	<input type="checkbox"/> その他(下欄に記入してください)
()	
質問5へ	

3. 利用したことのある項目は下記表のどれですか？また、その利用目的(計画、設計、工事、研究、その他)と、どれぐらい役に立ったのか、該当するものにチェックを入れてください。(複数回答可)

※役立った内容は、下記【役立ち内容】a～dのランクに分けていますので、該当するものにチェックを入れてください。

【役立ち内容】

- a: 時間を少しでも短縮することができた。 b: 事業費を少しでも削減することができた。
c: 時間短縮や事業費削減にはならないが、業務で有益であった。 d: 参考になった程度。

項目	目的	役立ち内容	目的	役立ち内容	目的	役立ち内容
<input type="checkbox"/> 柱状図	<input type="checkbox"/> 計画	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> 設計	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> 工事	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d
	<input type="checkbox"/> 研究	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> その他	()		
<input type="checkbox"/> 土質断面図	<input type="checkbox"/> 計画	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> 設計	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> 工事	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d
	<input type="checkbox"/> 研究	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> その他	()		
<input type="checkbox"/> 液状化判定結果	<input type="checkbox"/> 計画	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> 設計	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> 工事	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d
	<input type="checkbox"/> 研究	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> その他	()		
<input type="checkbox"/> 土質試験結果一覧	<input type="checkbox"/> 計画	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> 設計	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> 工事	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d
	<input type="checkbox"/> 研究	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d	<input type="checkbox"/> その他	()		

4. 質問3でa～dでチェックした内容について、簡単に記入してください。(複数回答可)

(例)・ボーリング調査1本分の費用と時間が、JIBANKUNデータにより100万円の削減と2週間の時間短縮ができた。

(例)・周辺にあるJIBANKUNデータにより、ボーリング調査結果の信頼性を確認することができた。

・

5. 今後も利用したい(利用してみたい)機能は何ですか。該当するもの全てにチェックしてください。(複数回答可)

地盤メニュー		
<input type="checkbox"/> 柱状図	<input type="checkbox"/> 土性図	<input type="checkbox"/> 深度分布図
<input type="checkbox"/> 土質断面図	<input type="checkbox"/> その他	

被害データ			
<input type="checkbox"/> 水道被害データ	<input type="checkbox"/> 下水道被害データ	<input type="checkbox"/> 地下鉄被害データ	<input type="checkbox"/> 建物被害
<input type="checkbox"/> 鉛直変位	<input type="checkbox"/> 傾斜区分	<input type="checkbox"/> 古地図	<input type="checkbox"/> 宅地擁壁被害地図
<input type="checkbox"/> 地質図	<input type="checkbox"/> 微地形区分図	<input type="checkbox"/> 慣砂図	<input type="checkbox"/> 変位ベクトル

6. 追加または改善してほしい機能がありましたら下記に記入してください。(複数回答可)

7. 神戸JIBANKUNに関してのご意見・要望等を記入してください。(複数回答可)

8. その他、「神戸の減災研究会」に対するご意見等がありましたら、ご記入をお願いいたします。

以上でアンケートは終了です。ご協力ありがとうございました。
今後とも神戸JIBANKUN運営にご協力をお願い致します。

アンケート結果を集計した結果を以下に示す。

① 利用頻度

利用頻度についての回答は、以下の様であった。

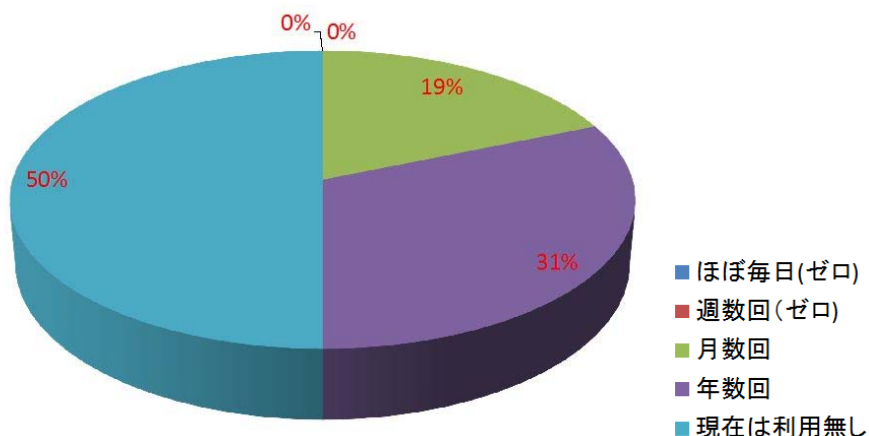


図-3.2.1 利用頻度

この中で、「現在利用なし」の理由では、

- ①業務で利用する必要性が無い
- ②操作方法がわからない
- ③その他

- ・社内セキュリティの都合で地図上にボーリング位置が表示されなくなった
- ・業務で使用する機会がない
- ・利用する機会が無い
- ・物件別に柱状図があるため
- ・他のDBを利用

の意見があった。

② 利用したことのある項目

表に、分野別に利用したことがある項目を示す。多くが、柱状図や土質試験結果一覧であった。

表－3.2.1 利用項目

項目	計画	設計	工事	研究	その他
柱状図	○	○			
土質断面図	○	○			
液状化判定結果		○			○
土質試験結果一覧	○	○	○		

※液状化判定結果の利用では、「居住地の選定に利用」の意見あり。

利用項目に対してのコメントは以下の様であった。

- ・周辺地盤情報を対比して、業務の参考とした。
- ・地盤調査の計画を策定するにあたっては、概略の地盤情報が必要となる。このとき、JIBANKUN データの柱状図を利用している
- ・周辺のボーリングデータを活用し、調査計画の参考資料として役に立った。
- ・調査計画を行う上で、提案調査数量の信頼性を高めることができた。
- ・居住地について参考にさせていただきました。
- ・立入防止柵工事において、地盤の固さにより見積価格に反映させた。
- ・設計で使用する柱状図、土質試験結果の検証に利用でき、有効であった。
- ・資料収集での時間短縮ができ、土質定数設定の根拠として利用できた。
- ・液状化判定結果の妥当性確認ができた。
- ・周辺にある JIBANKUN データにより、ボーリング調査の事前に地盤状況を想定することができ、計画立案に役立てることができた。

③ 今後利用してみたい機能

JIBANKUN で、今後利用してみたい機能の集計を以下の図に示す。

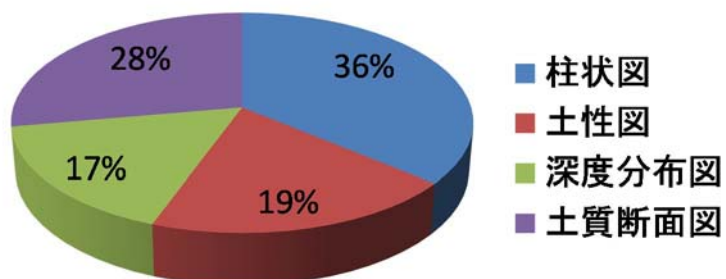


図-3.2.2 利用してみたい機能（地盤メニュー）

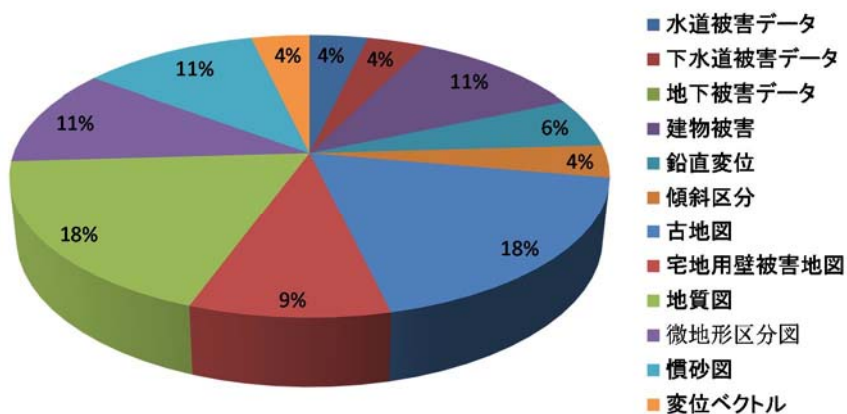


図-3.2.3 利用してみたい機能（被害メニュー）

具体的に追加，改善して欲しい機能は以下の様であった。

- ・データの追加
- ・郊外のデータの充実
- ・断面図測線の折れ線での設定
- ・断面図の縦横縮尺の設定
- ・物理試験データ及び力学データの閲覧

回答結果の中で、アンケートの時点での対応可能であることを以下に示す。

- ・データの追加
- ・郊外のデータの充実
→神戸市の発注状況に依存している。

- ・断面図測線の折れ線での設定
- ・断面図の縦横縮尺の設定
→上記2点は技術的には可能

- ・物理試験データ及び力学データの閲覧
→技術的には可能、現状は一覧表のみ表示
データが確認出来るものは、新しいデータから順にさかのぼって入力中(H30年5月現在ほぼ終了)
※柱状図入力ソフトによる表示は可能
(中央開発 HP より無償で入手可)

※H30年5月現在では、有償版となっているため、試用版として利用可能。

その他、神戸 JIBANKUN に対して、意見や要望として、以下の項目が集まった。

【防災意識の更なる向上の為のご意見】

- ・一般市民にも親しまれる、または教育材料になる、あるいは防災減災に役立つようなアプリの開発
- ・閲覧の対象がコンサル様等、地盤の知識がある方であると思うのですが、私には難しく感じましたので、ある程度素人にもわかる様に、試験方法やデータをどう読み取るのか、解説や注釈等入れて頂ければ有り難いと思いました

【利用方法・ソフトウェアの仕様に关わるご意見】

- ・会員登録しなくても柱状図等を閲覧できるようにする
- ・社内セキュリティを通して問題がない使用にしてもらいたい
- ・スマホ版への拡張

【その他】

- ・今後も継続して利用していきたい

3.3 新たなアプリケーションの開発に関する提言

(1) 現時点で利用可能なアプリケーション

- ・CKC-LIQ（シーケーシー リック）：中央開発（株）HP で無償配布のフリーソフトである。
- ・神戸 JIBANKUN からダウンロード柱状図データを読み込み各種基準による液状化判定計算を実施可能である。

液状化判定プログラム (CKC-LIQ) [270109001.DAT]

ファイル(E) 実行(A) テキスト(E) ヘルプ(H)

調査件名: _____ ボーリングNo.: R-201-①

地盤標高(m): 3.99 地下水位(GL-m): 1.2

	下地深度(GL-m)	土質名称	γ_t (kN/m³)	γ_{sat} (kN/m³)	非液状化層指定
1	2.5	シルト混じり砂	17.5	19.5	0
2	3.9	砂礫	19	21	0
3	4.6	砂	17.5	19.5	0
4	6	砂礫	19	21	0
5	15.7	シルト混じり砂	17.5	19.5	0
6	16.3	シルト混じり砂礫	19	21	0
7	20.1	風化岩	19	21	1

土層数: 7

道路橋示方書・高圧ガス

上載盛土厚さ(m): 0

盛土単位体積重量(kN/m³): 18

※上載盛土厚さを含めて20mまでの検討となります

☐ ユーザー参考値でデータ入力

ユーザー参考値ファイル名: 参考値 UTL

☐ ユーザー参考値で上書きする

地盤データ | 地層データ | 道路橋示方書 | 建築基礎構造 | 港湾施設 | 消防法 | 埋立地 | 高圧ガス |

図-3.3.1 入力画面例

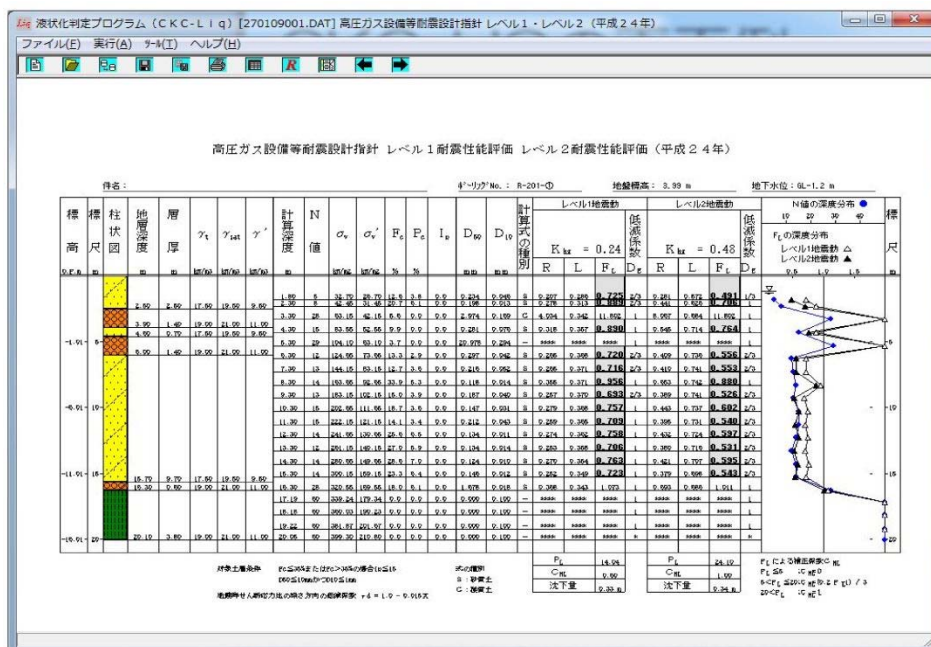


図-3.3.2 計算結果表示例

(2) 今後開発が望まれるアプリケーション

アンケート結果によると、N 値や室内土質試験結果を深度方向に表示する「土性図」や「深度分布図」の機能が望まれている。

H30 年 5 月時点で、有償配布されている柱状図編集ソフトウェアでは、図に示す様な土性図等の深度分布図の表示は可能である。

今後、これらを案として、開発するアプリケーションの仕様を検討することが望まれる。

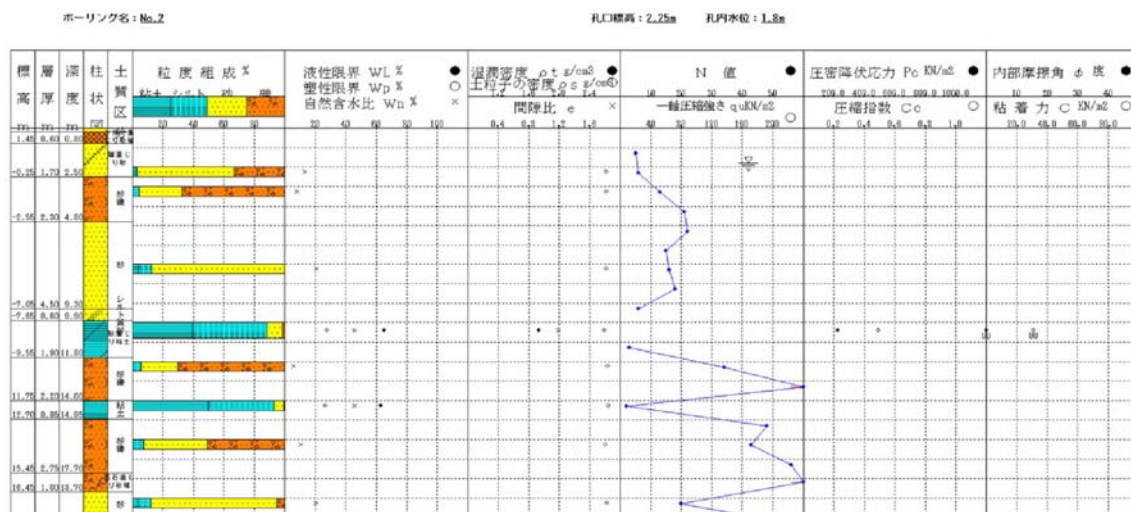


図-3.3.3 土性図の表示例

4. 具体的な活用方法の提案

4.1 地盤図に関する動き

「神戸 JIBANKUN」は、主に神戸市域のボーリングデータを検索・閲覧するシステムであり、地下深部の地盤情報を得ることができる。同様にボーリングデータなどを用いて、地下深部の地盤情報をまとめた地盤図の作成は、現在、多くの広がりを見せ、国土交通省、国立研究開発法人土木研究所および国立研究開発法人港湾空港技術研究所が共同で運営し、土木研究所が管理する国土地盤情報検索サイト(KuniJiban)を筆頭に、東京都の「東京の地盤」や国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センターの「都市域の地質地盤図」などがある。

地盤工学会においても「全国電子地盤図」の作成に向け、「表層地盤情報データベース連携に関する研究委員会」や「全国電子地盤図の拡張と運用に関する研究委員会」が立ち上げられ一定の成果を得ている。

いずれも従来は紙ベースで作成されていた地盤図を電子データとデータベースによる HP での公開を主とすることに力点が置かれている。「神戸 JIBANKUN」はこれらの地盤情報システムのさきがけとなったシステムであり、今後もその運営方法等の改善や斬新な展開が望まれる。

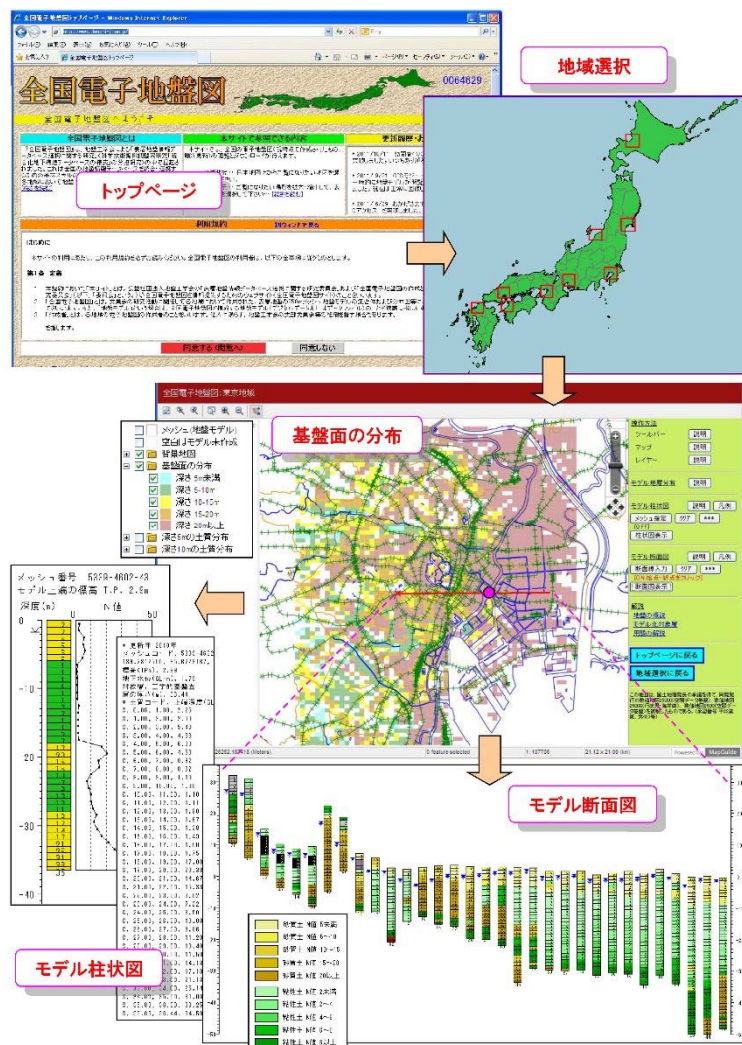


図-4.1.1 全国電子地盤 Web 公開閲覧システムの参照例¹⁾

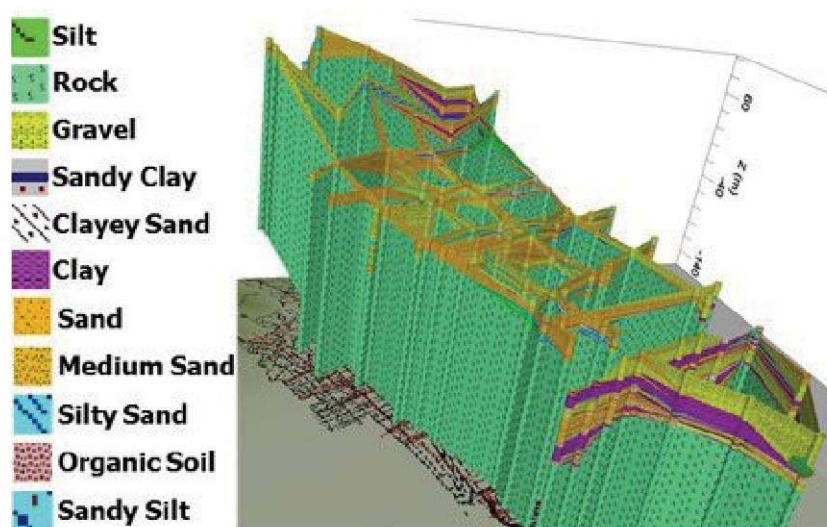
4.2 地盤図を用いた研究

「神戸 JIBANKUN」を有効活用して、新たな技術的知見を創出することが本研究の目的である。

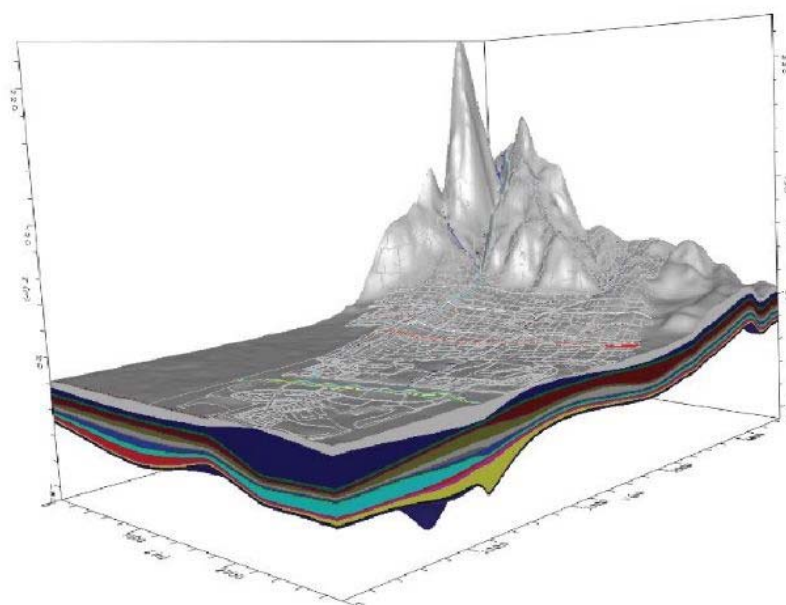
ここでは、その活用例の一つについて紹介する。

「神戸 JIBANKUN」のボーリングデータと GIS 情報を融合し、3 次元地形・地盤モデルを構築して、都市型水害を軽減するため、雨水浸透施設の設置を合理的に選定する浸透適地・不適地マップを作成した事例である。²⁾

本事例では約 432 箇所「神戸 JIBANKUN」のボーリングデータを活用し、雨水浸透の対象となる表層地盤の複雑な地層構成を反映し、現場注入試験を併用して不飽和浸透特性を評価し、表層部の水分特性曲線を求めて浸透解析モデルに反映している。ここでは表層部の不飽和浸透特性を評価し、浸透適地・不適地マップを提案している。地盤ボーリングデータと地形の情報に原位置試験のデータを加味して、地下水の変動傾向を評価し、地盤の浸透評価により判定する有効性を示している。



図－4.2.1 「神戸 JIBANKUN」データを用いて作成した 3 次元地層断面図の例²⁾



図－4.2.2 「神戸 JIBANKUN」データを用いて作成した 3 次元地形・地盤モデルの例²⁾

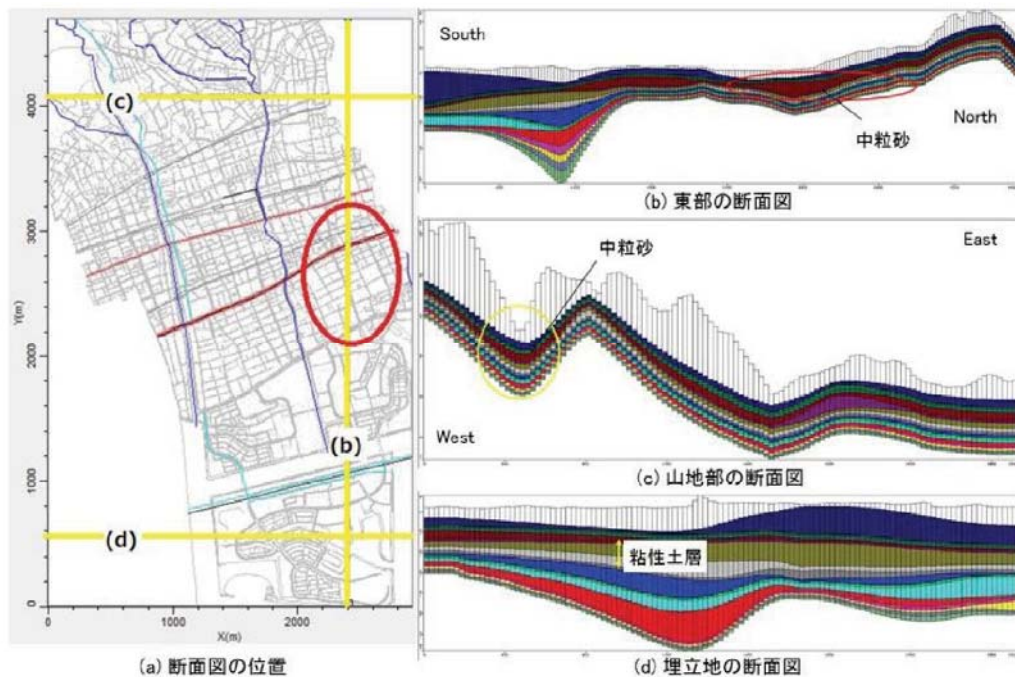


図-4.2.3 「神戸 JIBANKUN」データを用いて作成した地層断面図の例²⁾

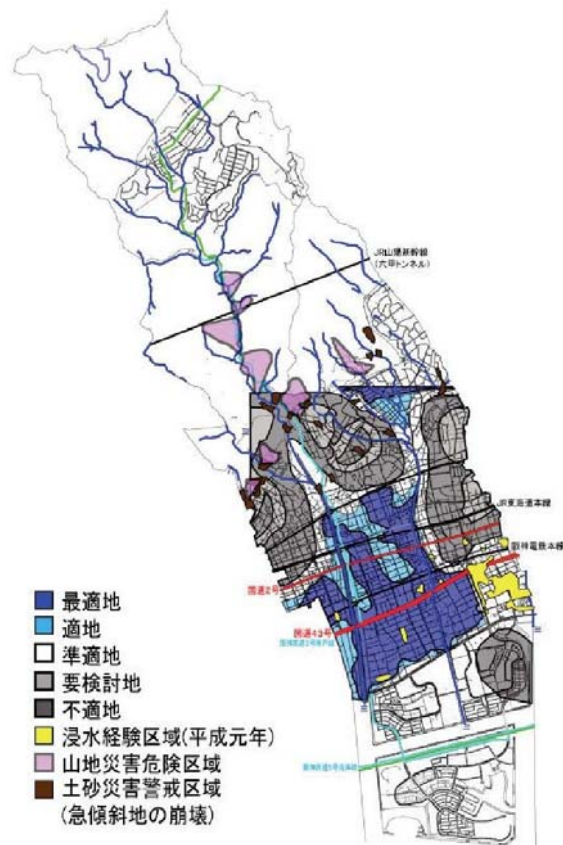


図-4.2.4 浸透適地および不適地の区分図²⁾

参考文献・引用文献

- 1) 全国電子地盤図の拡張と運用に関する研究報告書：公益社団法人地盤工学会 全国電子地盤図の拡張と運用に関する研究委員会，2017.
- 2) 澁谷啓・白済民・齋藤雅彦：雨水浸透施設の適地マップ作成のための地盤調査・解析法，土木学会論文集 C (地圏工学)，71 巻，4 号，2015.

5. 地盤図による下水道管渠を対象とした健全度の評価と予測に関する研究

5.1 研究の背景

(1) 神戸市の下水道整備の歴史と課題¹⁾

神戸市における下水道整備事業への着手は昭和 26 年と他の大都市に比べて遅く、そのため耐用年数 50 年を経過した管渠は、污水管渠延長約 4,100km 中、約 500km（改築済：120km）と決して多くはない。一方、水洗化の促進などを目的に、昭和 40 年代後半から昭和 50 年頃にかけて毎年 140～220km におよぶ集中的な整備がなされたため、耐用年数を超えて老朽化が進行する管渠が一時期に重なることとなる。神戸市では昭和 51 年度末に既成市街地の水洗化率 100%が達成されたものの（「図-5.1.1 神戸市の下水処理区・処理場位置図」参照）、昭和 40 年代後半に集中的に建設した管渠が今後耐用年数を迎えることとなる。

平成 7 年の阪神淡路大震災では、下水処理場の被災をはじめ、污水管 63.5km、雨水幹線 9.5km など、下水道施設が被災を受け、その復旧に 3 年以上を要している。一方で、この下水道管渠の被災の経験がその後の調査や管路更生技術の向上に大きく寄与したとされる。また、震災後、旧市街地の管渠約 1,300km を対象に自走式テレビカメラによる調査を行い、管渠の劣化状況を判定して、緊急性の高い箇所では改築が実施されている。さらに、神戸市では下水道のネットワーク化や老朽管渠のリフレッシュ・再構築の他、浸水対策や処理場設備の更新・改築に取り組んでいる。特に、雨天時に降雨量に比例して污水管に浸入し、沿岸部では地下水や海水が混入する不明水は、管渠の老朽化に伴って生じ、震災の影響もあって、その量は年間数 1,000 万 m³ と処理水量の数 10%に相当し、現在も対策を要している。

また、近年、神戸市でも他の自治体と同様に道路の陥没が確認されている。これらは一様に下水道管渠の損傷が原因というものではなく、道路柵の周囲の段差や取付管の損傷などの他、多くの地下埋設物にも要因があり、その原因は多岐に渡っている。

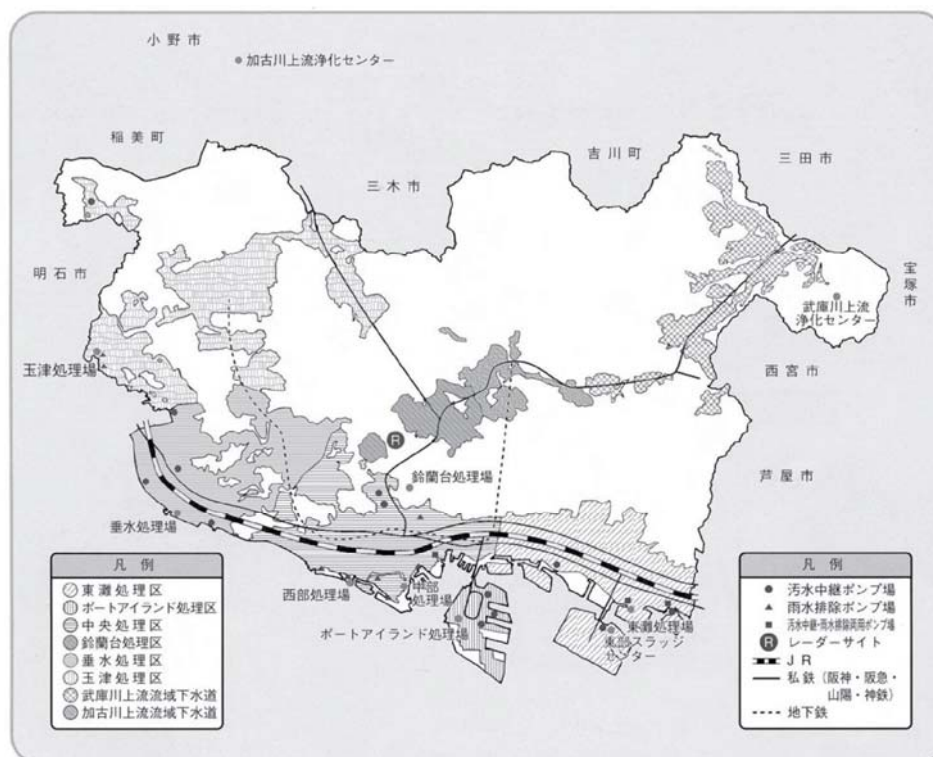
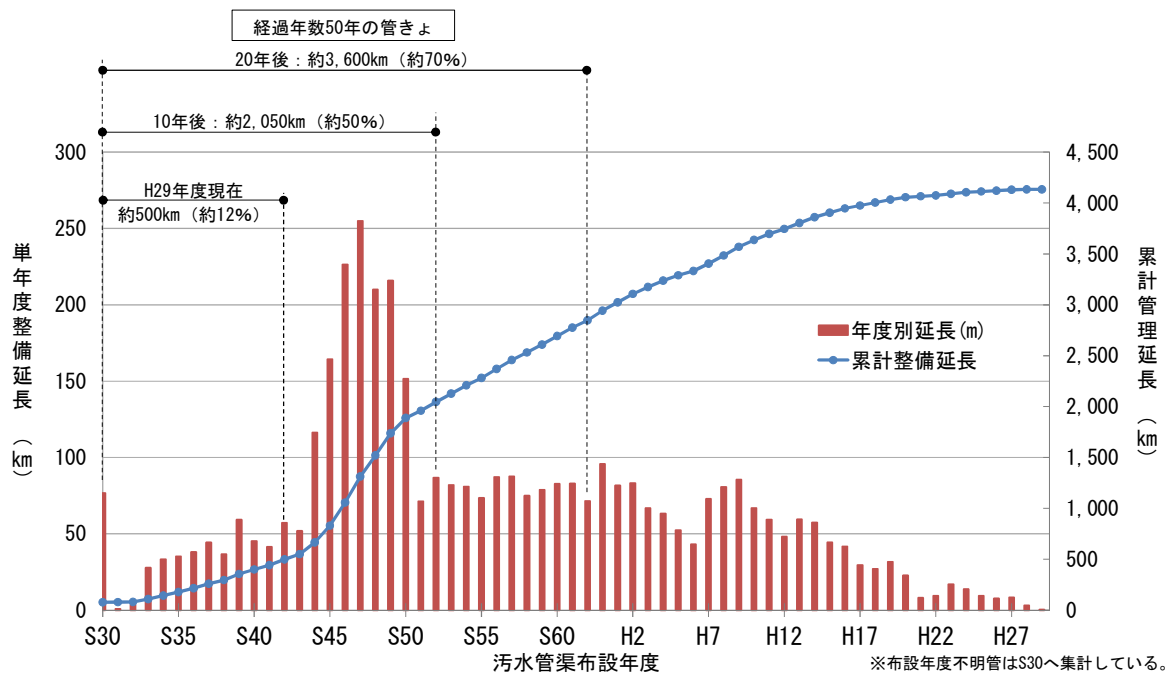


図-5.1.1 神戸市の下水処理区・処理場位置図¹⁾

しかしながら、老朽化した污水管渠を原因とする、①道路の陥没や漏水などの事故、②浸入水の増大による処理費用の増加、③下水道の機能停止、などが全国的に大きな問題となっており、今後、増大する老朽管渠の効率的・効果的な調査・計画・改築が大きな課題である。



図—5.1.2 年度別污水管施工延長

(2) 老朽化対策の現状¹⁾

神戸市の污水管渠の布設延長は約 4,100km、雨水管渠の布設延長は約 600km である。管種は、污水管渠ではヒューム管が約 6 割、塩ビ管が約 3 割を占める。雨水管渠はコンクリート管が大部分である。

一方、改築更新工事は大部分で更生工法が選択され、更生工法の施工延長は約 100km を超えた。改築更新は、テレビカメラ調査により管渠の劣化診断を行い、管路の破損や劣化状態を A～C ランクに分類して、優先順位を決定している。ここで、勾配や流下能力に問題があれば開削工法による布設替えを選択し、問題がなければ更生工法を採用している。

(3) 研究の背景

神戸市では今後耐用年数を超える管渠が急激に増加するため、改築更新をいかに計画的に進めていくかが大きな課題である¹⁾。

現在、すでに多くの管渠の調査と診断が行われているが、A、B、C に区分されたこれら管渠の劣化状態などの豊富なデータを活用し、管渠の劣化の将来予測ができないか、あるいは今後実施する調査の優先順位付けを図ることができないか、という発想から本研究を進めることとなった。

すなわち、管渠の改築更新計画における「神戸 JIBANKUN」のデータ活用である。特に、1) 地盤と下水道管渠の破損や損傷との関係の有無や、2) 下水道管内の調査結果に基づく健全度と地盤特性との関連性の有無と考察、3) 未調査エリアにおける劣化予測への活用など、いくつかの要点に着目して成果を得ることで、行政課題へ対応する道を開き、維持管理や減災への成果の活用を図るものである。

5.2 これまでの公共下水道管路（污水）の分析概要

神戸市では、公共下水道管路（污水）施設について、管内調査を計画的に実施するとともに、調査結果および管渠の特性（埋設された位置、地盤、処理面積など）からリスク評価を行い、優先度を設定し効率的な改築計画を進めている。

これまでの公共下水道管路（污水）施設の維持管理計画は、「平成 22 年度 汚水管渠改築更新基本計画（長寿命化計画）」において、劣化予測、LCC 最小化、事業費平準化を実施し、改築更新に係る長期的な投資計画を策定した。また、これを基に作成した、「平成 23 年 度汚水管きょ改築更新基本計画（長寿命化計画）」における汚水管きょの老朽化に伴うリスク評価を「平成 26 年度 汚水管きょ改築更新基本計画（長寿命化計画）」で見直し、改築更新計画策定に必要な全市における調査の優先順位を決定するとともに、改築更新エリアにおける実現可能な 5 か年の中期計画を策定している。

ここでは、「平成 26 年度 汚水管きょ改築更新基本計画（長寿命化計画）」において行ったリスク評価から下水道管渠（污水）の分析結果について述べる。

(1) 下水道管渠（污水）の管種

神戸市全域における下水道管渠（污水）の管種は、表－5.2.1 に示すように、ヒューム管類（無筋コンクリート管含）、樹脂管（硬質塩化ビニル管含）、鋼管類、陶管類、更生管類の 5 種に分類される。

ヒューム管類（無筋コンクリート管含）は 58%を占めており延長 2,396 km, 125,977 スパンである。樹脂管（硬質塩化ビニル管含）は 35%を占めており延長 1,451 km, 69,058 スパンである。鋼管類および陶管類は 1%未満であり、更生管類は 6%である。

今後は、ヒューム管類（無筋コンクリート管含）の改築更新が進んでいくと、ヒューム管類が減少、更生管類が増加することとなる。

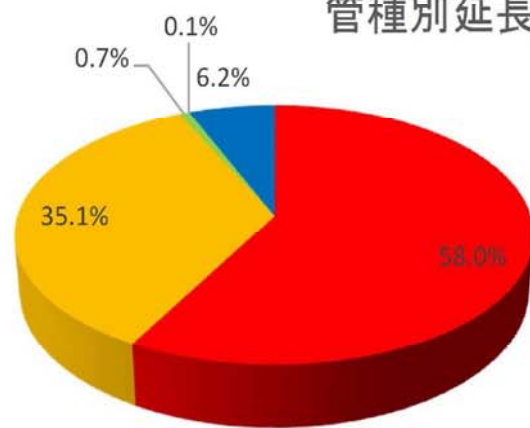
表－5.2.1 下水道管渠（污水）の管種別集計表

管 種	幹 線		枝 線		延長割合 (%)
	スパン数	延長(km)	スパン数	延長(km)	
ヒューム管類 (無筋コンクリート管含)	8,453	340.2	117,524	2,056.22	58.0
樹脂管類 (硬質塩化ビニル管含)	2,311	93.37	66,747	1,357.56	35.1
鋼管類	181	16.77	572	11.65	0.7
陶管類	1	0.02	108	2.34	0.1
更生管等	1,199	31.72	10,997	223.13	6.2
合 計	12,145	482.08	195,948	3,650.90	100.0

図－5.2.1 に神戸市全域における下水道管渠（污水）の管種分布図を示す。



管種別延長割合

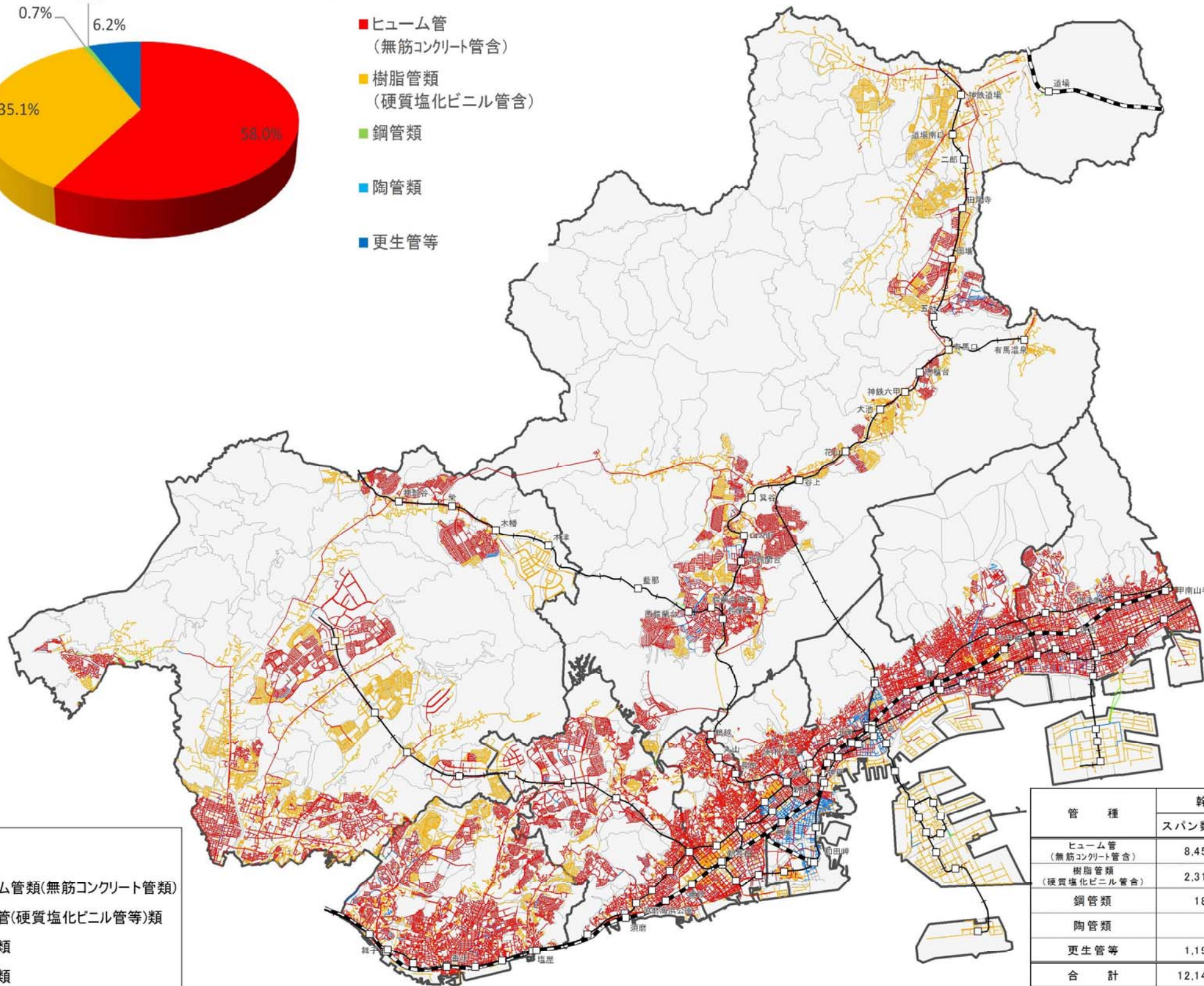


- ヒューム管
(無筋コンクリート管含)
- 樹脂管類
(硬質塩化ビニル管含)
- 鋼管類
- 陶管類
- 更生管等

管種

凡例

- ヒューム管類(無筋コンクリート管類)
- 樹脂管(硬質塩化ビニル管等)類
- 鋼管類
- 陶管類
- 更生管等



管 種	幹 線		枝 線		延長割合 (%)
	スパン数	延長(km)	スパン数	延長(km)	
ヒューム管 (無筋コンクリート管含)	8,453	340.2	117,524	2,056.22	58.0
樹脂管類 (硬質塩化ビニル管含)	2,311	93.37	66,747	1,357.56	35.1
鋼管類	181	16.77	572	11.65	0.7
陶管類	1	0.02	108	2.34	0.1
更生管等	1,199	31.72	10,997	223.13	6.2
合 計	12,145	482.08	195,948	3,650.90	100.0

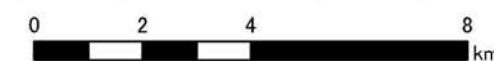


図-5.2.1 下水道管渠(汚水)の管種分布図

(2) 下水道管渠（汚水）の管年齢

神戸市全域における下水道管渠（汚水）の管年齢を 20 年以下，21 年～30 年以下，31 年～40 年以下，41 年～50 年以下，51 年以上に集計すると表－5.2.2 のようになる。

51 年以上の管渠は 9% であるが，31 年以上の管渠は 60% となり延長 2,499 km，135,705 スパンとなる。

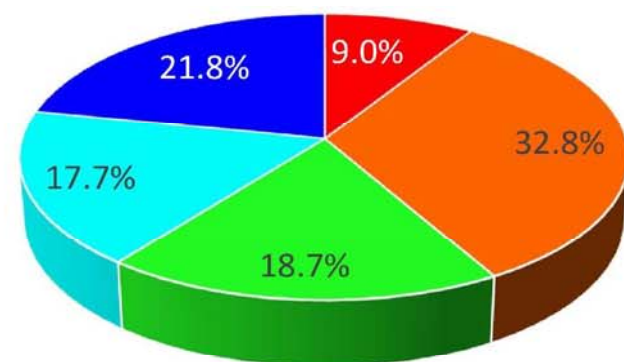
表－5.2.2 下水道管渠（汚水）の管年齢（経過年数）別集計表

経過年数	幹 線		枝 線		延長割合 (%)
	スパン数	延長(km)	スパン数	延長(km)	
51 年以上	1,609	50.30	18,463	320.74	9.0
41 年以上 50 年以下	4,252	125.62	75,477	1,229.33	32.8
31 年以上 40 年以下	2,532	135.87	33,372	637.45	18.7
21 年以上 30 年以下	1,504	81.17	30,954	650.78	17.7
20 年以下	2,248	89.12	37,682	812.61	21.8
合 計	12,145	482.08	195,948	3,650.91	100.0

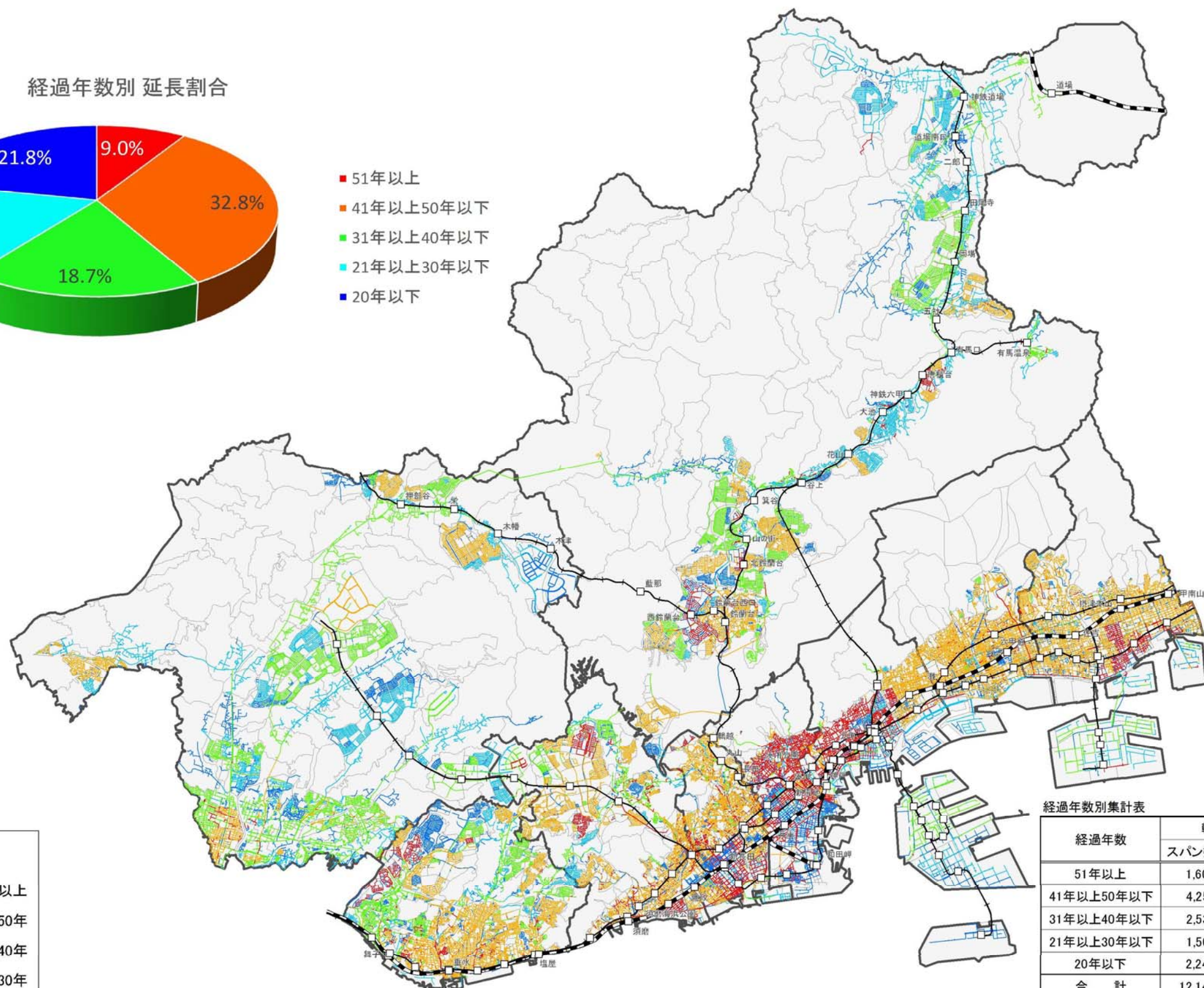
図－5.2.2 に神戸市全域における下水道管渠（汚水）の管年齢分布図を示す。



経過年数別 延長割合



- 51年以上
- 41年以上50年以下
- 31年以上40年以下
- 21年以上30年以下
- 20年以下



凡例

- 51年以上
- 41～50年
- 31～40年
- 21～30年
- 0～20年

経過年数別集計表

経過年数	幹 線		枝 線		延長割合 (%)
	スパン数	延長(km)	スパン数	延長(km)	
51年以上	1,609	50.30	18,463	320.74	9.0
41年以上50年以下	4,252	125.62	75,477	1,229.33	32.8
31年以上40年以下	2,532	135.87	33,372	637.45	18.7
21年以上30年以下	1,504	81.17	30,954	650.78	17.7
20年以下	2,248	89.12	37,682	812.61	21.8
合 計	12,145	482.08	195,948	3,650.91	100.0

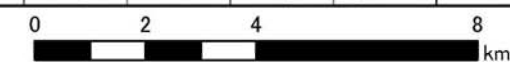


図-5.2.2 下水道管渠（污水）の管年齢分布図

(3) 下水道管渠（污水）の管内調査状況

神戸市全域における下水道管渠（污水）の調査状況を未調査，簡易調査，詳細長に集計すると表－5.2.3 のようになる。

緊急度判定が可能な詳細調査は40%完了しており，点検程度である簡易調査は27%となっている。管渠を敷設してからこれまで調査を実施していない未調査は33%となっている。

表－5.2.3 下水道管渠（污水）の調査状況集計表

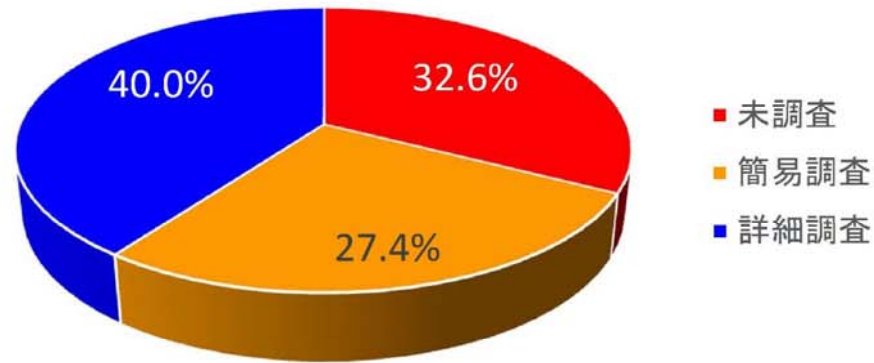
調査状況	幹 線		枝 線		延長割合 (%)
	スパン数	延長(km)	スパン数	延長(km)	
未調査	2,233	162.83	59,327	1185.09	32.6
簡易調査	1,339	50.97	58,656	1080.34	27.4
詳細調査	8,573	268.28	77,965	1385.48	40.0
合計	12,145	482.08	195,948	3,650.91	100.0

図－5.2.3 に神戸市全域における下水道管渠（污水）の調査状況図を示す。

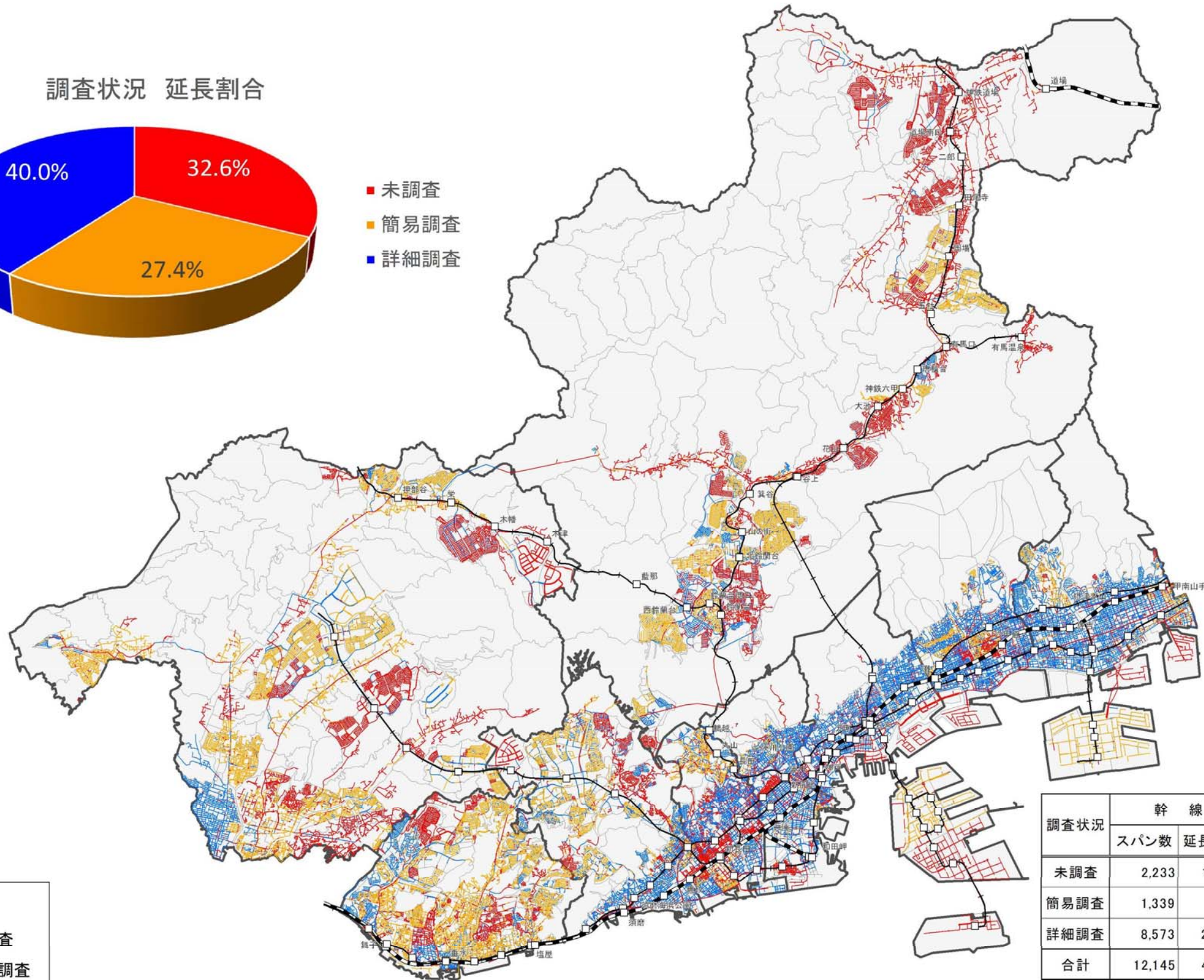


調査区分

調査状況 延長割合



■ 未調査
■ 簡易調査
■ 詳細調査



凡例

— 未調査
— 簡易調査
— 詳細調査

調査状況	幹 線		枝 線		延長割合 (%)
	スパン数	延長(km)	スパン数	延長(km)	
未調査	2,233	162.83	59,327	1185.09	32.6
簡易調査	1,339	50.97	58,656	1080.34	27.4
詳細調査	8,573	268.28	77,965	1385.48	40.0
合計	12,145	482.08	195,948	3,650.91	100.0

0 2 4 8 km

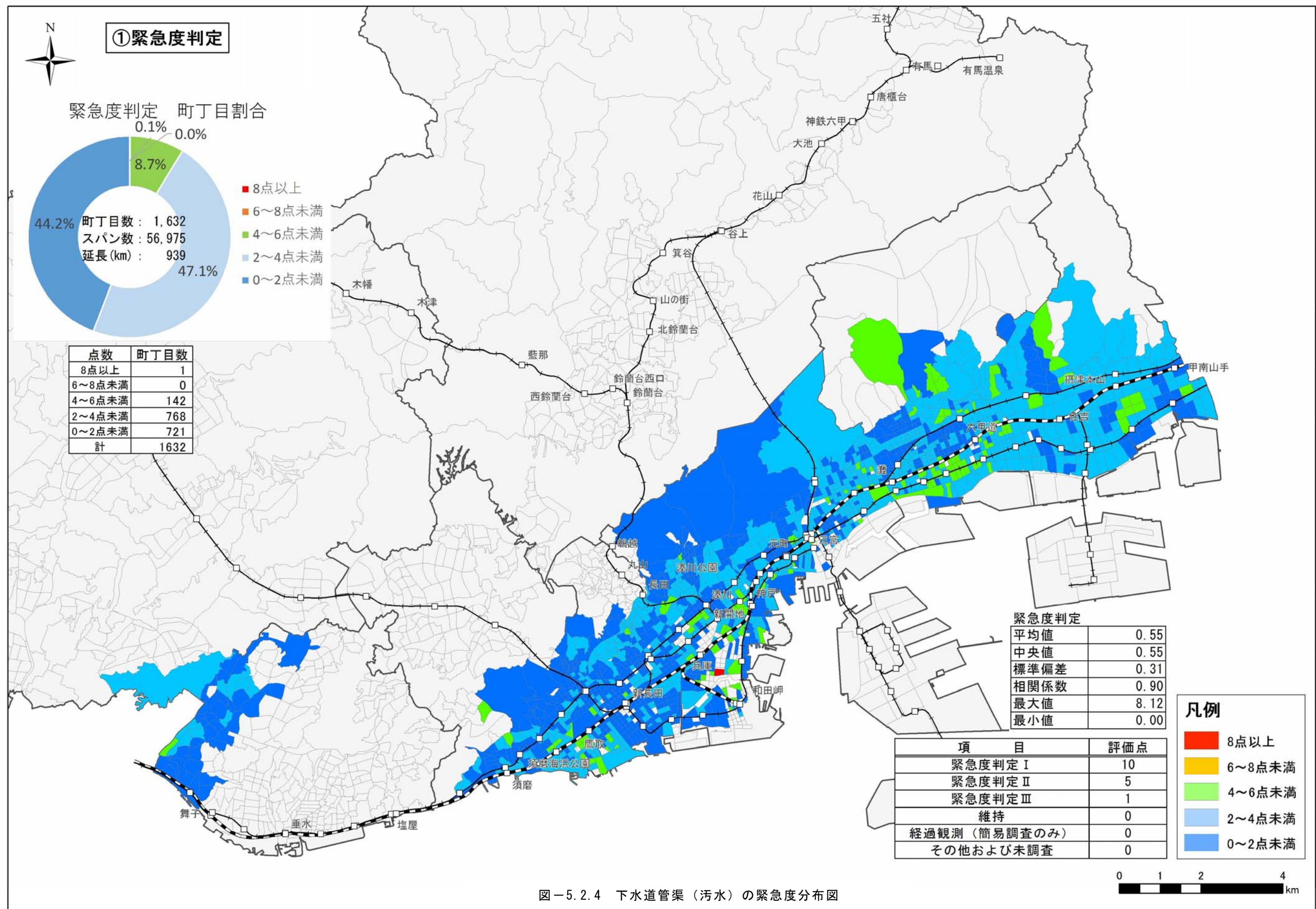
図-5.2.3 下水道管渠（污水）の調査状況図

(4) 管内調査による緊急度分布

(3) 下水道管渠（汚水）の管内調査状況より、緊急度判定が可能な詳細調査が完了している地域は、海側の行政区であることが分かる。

ここでは、海側の行政区である東灘区、灘区、中央区、兵庫区、長田区、須磨区、垂水区に埋設されている下水道管渠（汚水）の緊急度判定結果を町丁目単位で定量評価した結果を図－5.2.4に下水道管渠（汚水）の緊急度分布図として示す。

緊急度分布図から、全体的に緊急度が小さいことが確認できる。ただし、和田岬周辺は、相対的に少し緊急度が大きい状況である。



図－5.2.4 下水道管渠（污水）の緊急度分布図

(5) 下水道管渠（污水）のリスク評価結果分布

神戸市では、下水道管渠（污水）のリスク評価を12項目行っている。各リスクの評価項目と評価概要を表－5.2.4に整理するとともに、次ページ以降に評価結果図を示す。

表－5.2.5については、各リスクの評価項目における評価結果をまとめている。

表－5.2.4 下水道管渠（污水）のリスク評価整理表

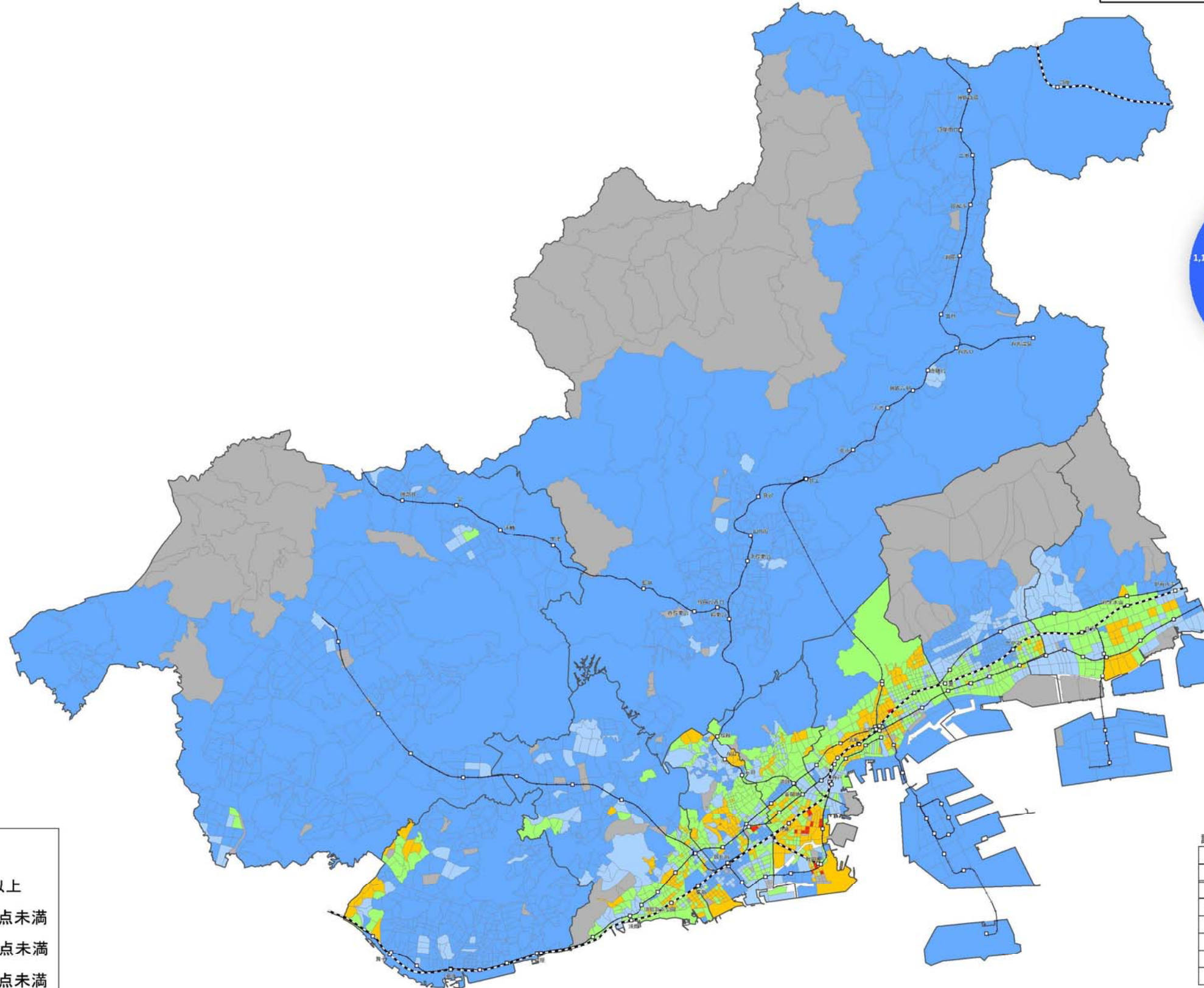
評価項目	評価概要	参照図
調査経過年数	経年劣化の危険性が高くなるリスクを調査経過年数で評価	図－5.2.5
管年齢	経年劣化の危険性が高くなるリスクを管年齢で評価	図－5.2.6
公衆災害損失	不具合が発生する確率が高くなるリスクを管年齢で評価	図－5.2.7
代替機能損失	下水道使用制限によって影響を及ぼす大きさのリスクを人口密度で評価	図－5.2.8
陥没影響	道路陥没に起因する復旧作業のリスクを管渠の重要度で評価	図－5.2.9
水質汚濁損失	下水漏水による公共用水域の水質汚濁に伴うリスクを親水施設を有する河川の近傍度で評価	図－5.2.10
土壌汚染損失	高濃度汚濁排水の漏水による土壌汚染に伴うリスクを特定事業所の近傍度で評価	図－5.2.11
浸入水処理	浸入水に伴う処理費用の増大のリスクを調査結果の浸入水異状で評価	図－5.2.12
機械類劣化損失	海水の浸入による処理場等の機械類の劣化促進のリスクを管渠の埋設深さで評価	図－5.2.13
腐食環境状態	圧送管の吐口で硫化水素の発生に伴うコンクリート腐食が進行するリスクをポンプ・ビルピットの有無で評価	図－5.2.14
微地形区分	管継手部のズレが発生するリスクを微地形区分（地盤状態）で評価	図－5.2.15
液状化	管継手部のズレが発生するリスクを液状化指数（地盤状態）で評価	図－5.2.16

表－5.2.5 下水道管渠（污水）のリスク評価結果

評価項目	評価結果
調査経過年数	和田岬周辺は、相対的に経年劣化の危険性が高い状況である。
管年齢	全体的に経年劣化の危険性が高い状況である。
公衆災害損失	全体的に不具合が発生する確率が高い状況である。
代替機能損失	市街地において下水道使用制限による影響が大きい状況である。
陥没影響	全体的に道路陥没に起因する復旧作業のリスクは小さい状況である。
水質汚濁損失	天王谷川、住吉川の中流で水質汚濁に伴うリスクが大きい状況である。
土壌汚染損失	全体的に土壌汚染に伴うリスクは小さい状況である。
浸入水処理	全体的に浸入水に伴う処理費用の増大のリスクは小さい状況である。
機械類劣化損失	地盤高の低い地域は機械類の劣化促進のリスクが大きい状況である。
腐食環境状態	三宮周辺はコンクリート腐食が進行するリスクが高い状況である。
微地形区分	全体的に管継手部のズレが発生するリスクは小さい状況である。
液状化	埋立て地で管継手部のズレが発生するリスクが大きい状況である。



管きょ属性_調査年度(調査経過年数)



調査年度(調査経過年数)

平均値	0.59
中央値	0.54
標準偏差	0.47
相関係数	0.51
最大値	1.60
最小値	0.00

※ 重み係数を考慮した値

調査年度(調査経過年数)

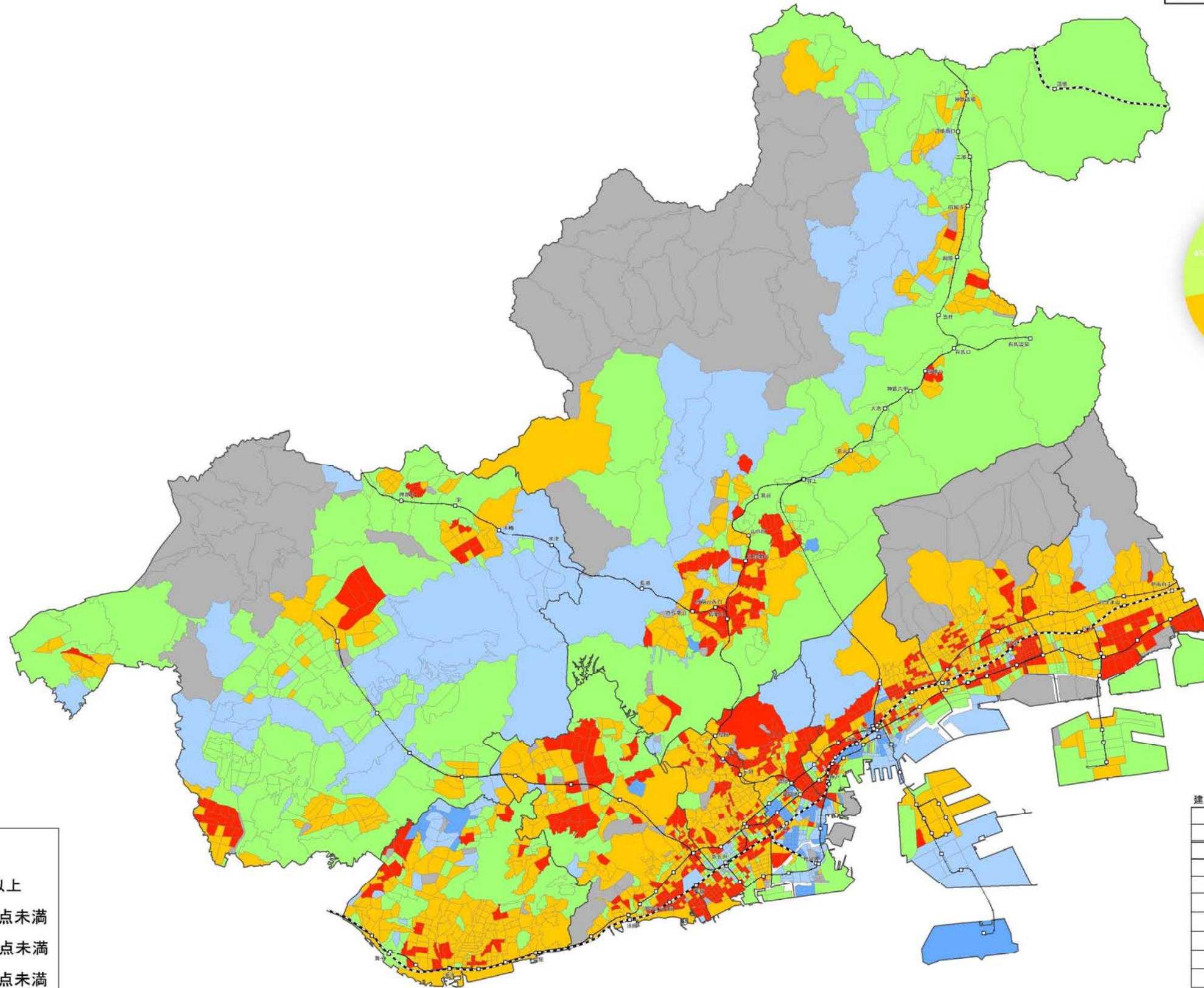
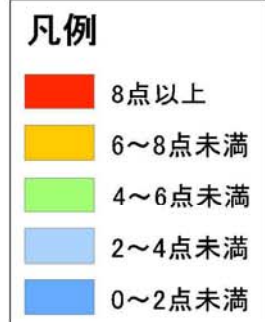
各1スパンにおける評価点	
調査経過年数	評価点
未調査(簡易調査含む)	10
N<20年(1巡を20年とするため)	8
15年<N≤20年	6
10年<N≤15年	4
5年<N≤10年	2
N≤5年	0



図-5.2.5 調査経過年数による経年劣化の評価結果図



管きょ属性_建設年度(管年齢)



建設年度(経年変化)

平均値	1.35
中央値	1.47
標準偏差	0.43
相関係数	0.60
最大値	2.00
最小値	0.00

※ 重み係数を考慮した値

建設年度(経年変化)

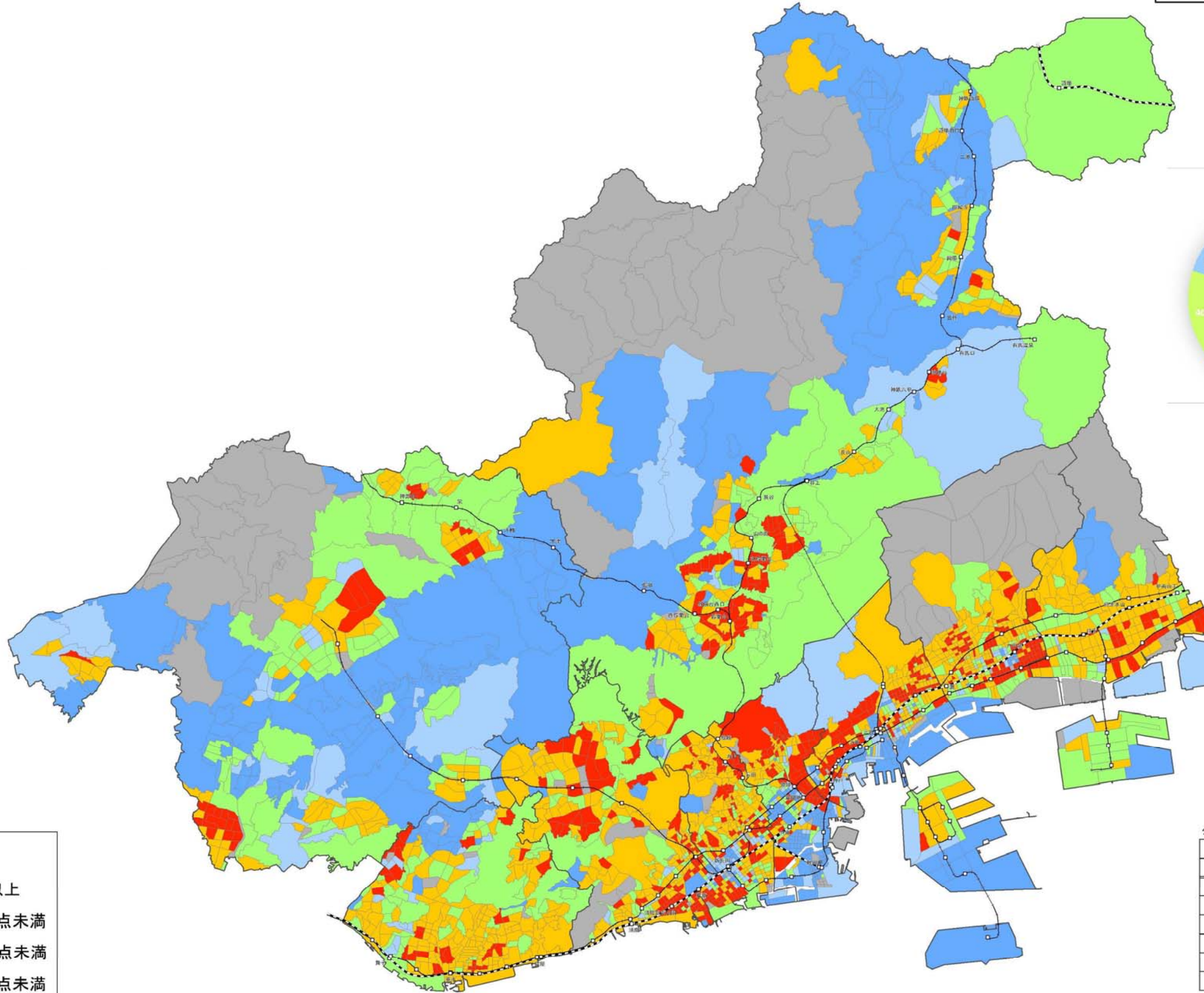
各1スパンにおける評価点	
経過年数	評価点
50年 ≤ N < 70年	10
40年 ≤ N < 50年	8
30年 ≤ N < 40年	6
20年 ≤ N < 30年	4
10年 ≤ N < 20年	2
N < 10年	0
不明(陶管、ヒューム管類)	10
不明(塩ビ管、その他)	2



図-5.2.6 管年齢による経年劣化の評価結果図



影響度_公衆災害損失(管年齢)



公衆災害損失(管年齢)

平均値	1.35
中央値	1.55
標準偏差	0.62
相関係数	0.62
最大値	2.24
最小値	0.00

※ 重み係数を考慮した値

公衆災害損失(管年齢)

各1スパンにおける評価点

経過年数	評価点
50年 ≤ N < 70年	10
40年 ≤ N < 50年	8
30年 ≤ N < 40年	6
N < 30年	0
不明(陶管、ヒューム管類)	10
不明(塩ビ管、その他)	0

0 2 4 8 km

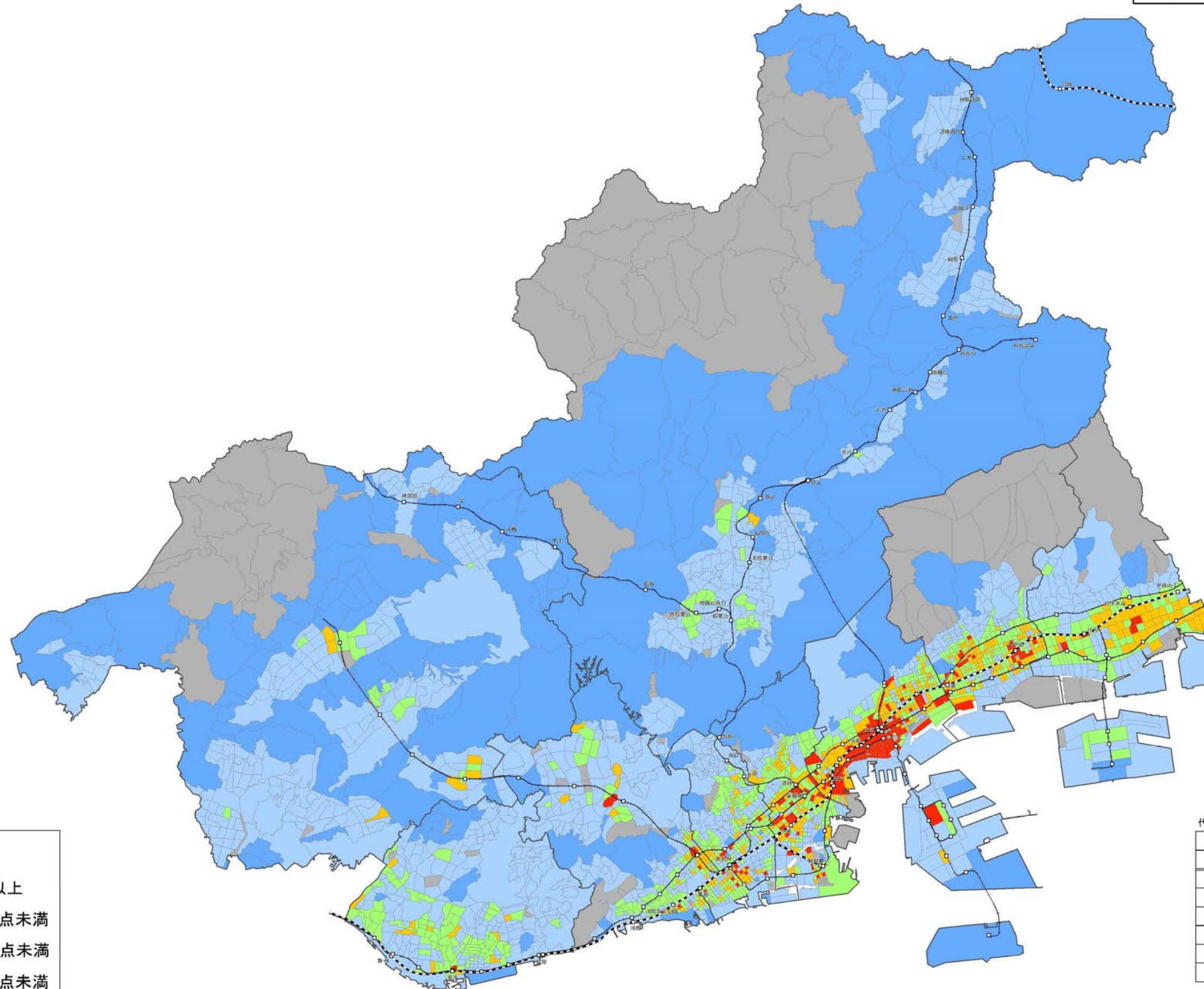
図-5.2.7 管年齢による不具合発生確率の評価結果図



影響度_代替機能損失(人口密度)

凡例

8点以上
6～8点未満
4～6点未満
2～4点未満
0～2点未満



代替機能損失

平均値	0.97
中央値	0.89
標準偏差	0.47
相関係数	0.49
最大値	2.24
最小値	0.22

※ 重み係数を考慮した値

代替機能損失（人口密度）

各1スパンにおける評価点	
人口密度	評価点
300人/ha以上	10
200人/ha以上300人/ha未満	7
100人/ha以上200人/ha未満	4
50人/ha以上100人/ha未満	3
10人/ha以上50人/ha未満	2
10人/ha未満	1



図－5.2.8 人口密度による代替機能損失の評価結果図

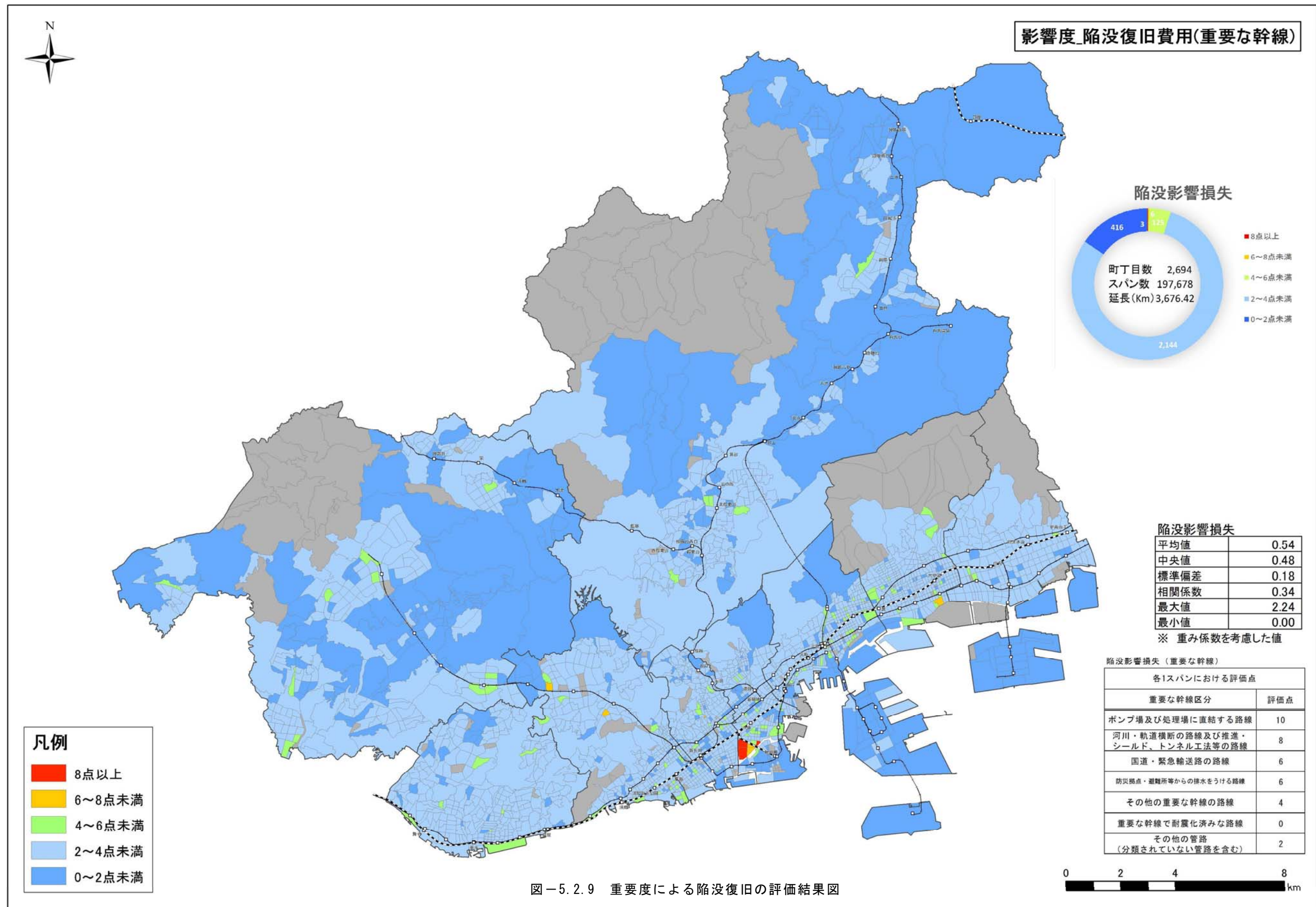
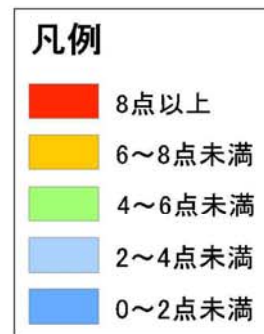
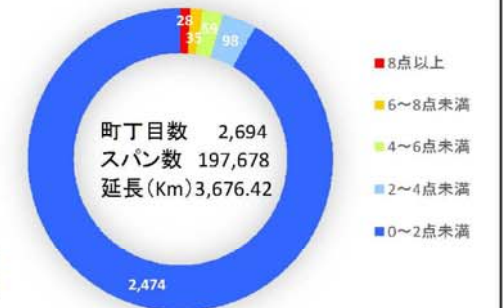


図-5.2.9 重要度による陥没復旧の評価結果図



影響度 水質汚濁損失(親水施設)

水質汚濁損失(親水施設)



水質汚濁損失	
平均値	0.03
中央値	0.00
標準偏差	0.11
相関係数	0.07
最大値	0.73
最小値	0.00

※ 重み係数を考慮した値

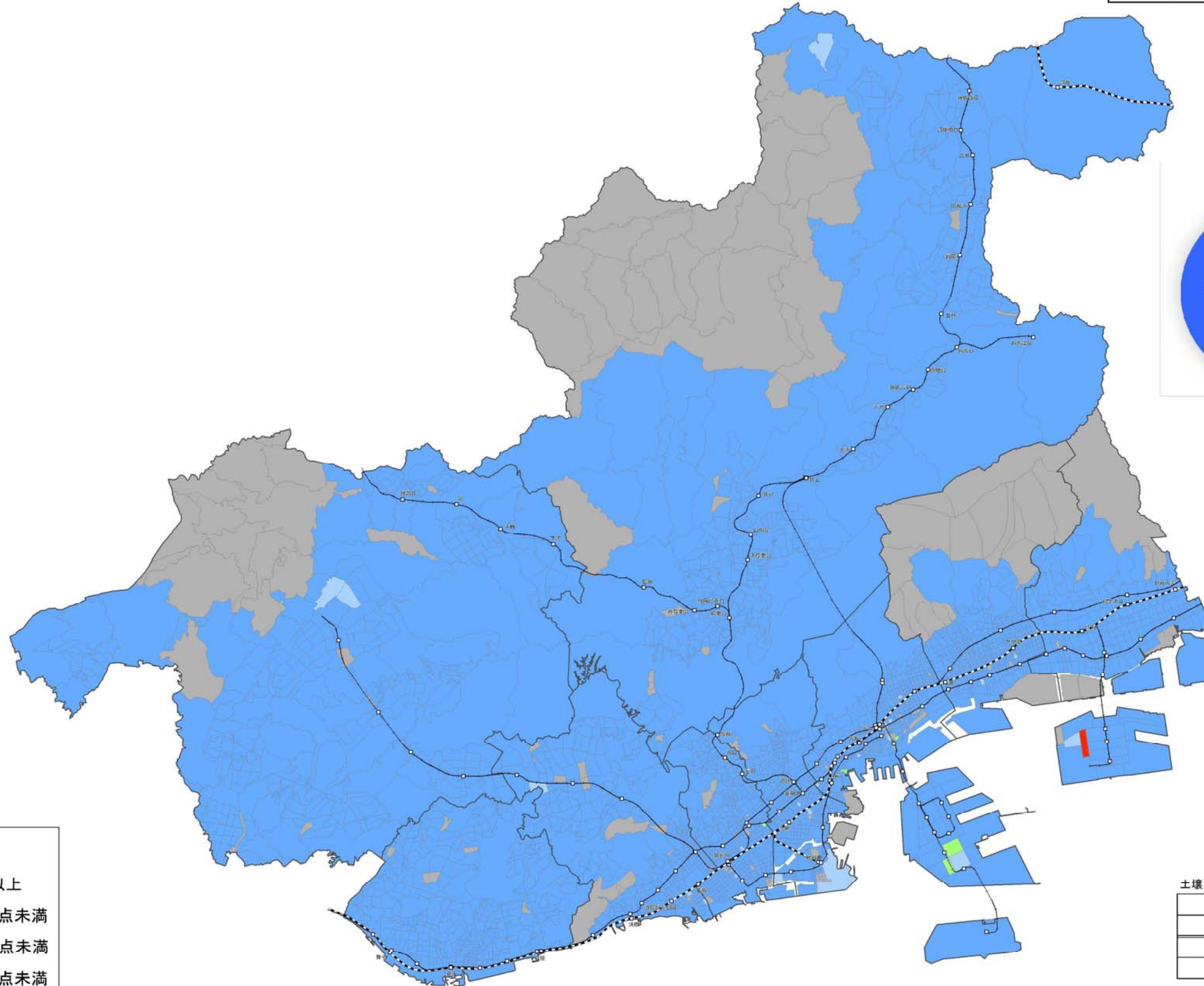
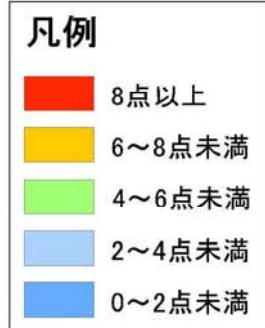
水質汚濁損失(親水公園)	
各1スパンにおける評価点	
親水施設への影響	評価点
ある	10
ない	0



図-5.2.10 下水漏水による水質汚濁損失の評価結果図



影響度_土壤汚染損失(特定事業所)



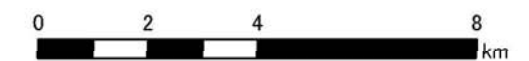
土壤汚染損失

平均値	0.01
中央値	0.00
標準偏差	0.03
相関係数	0.12
最大値	0.73
最小値	0.00

※ 重み係数を考慮した値

土壤汚染損失 (特定事業所)

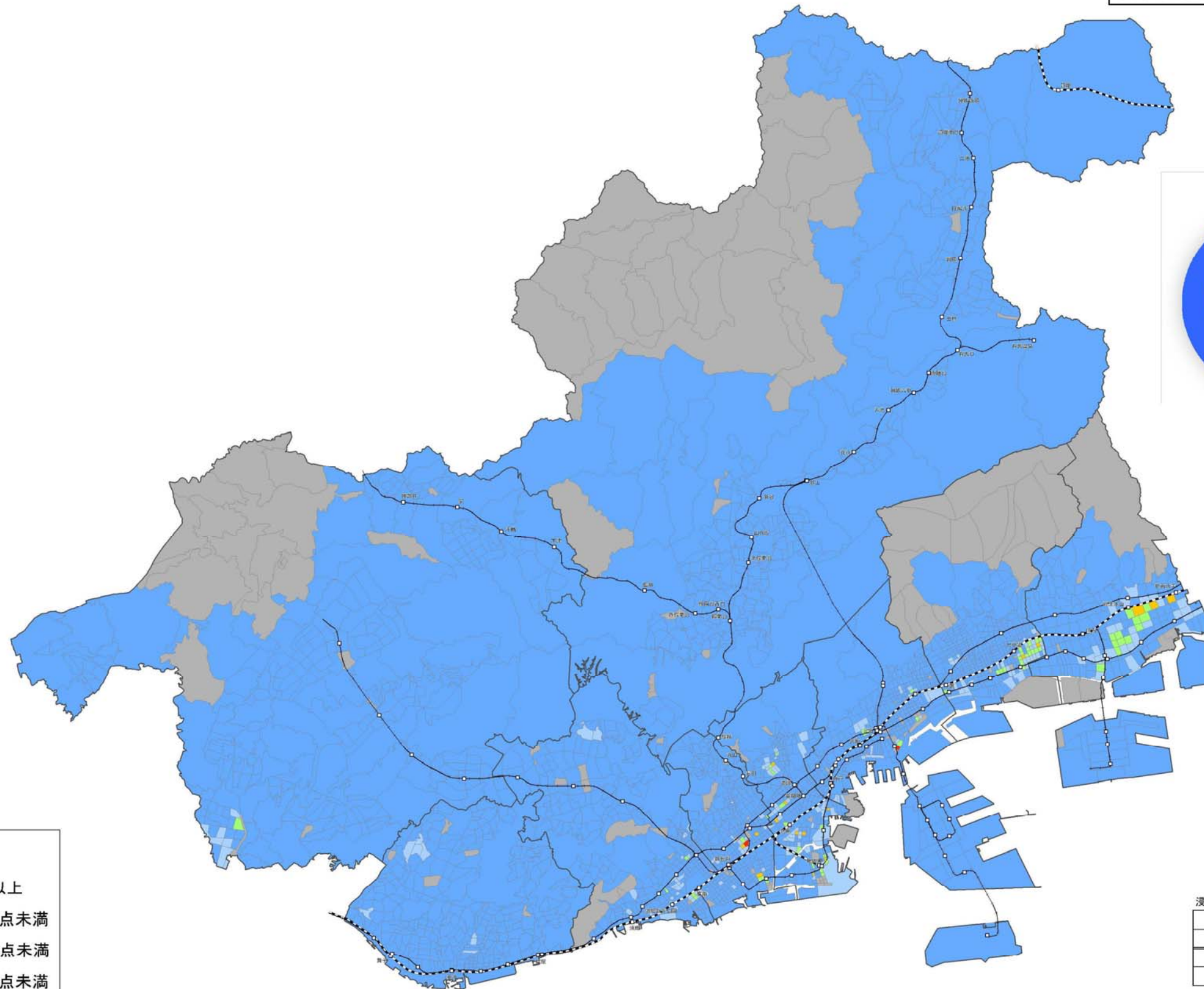
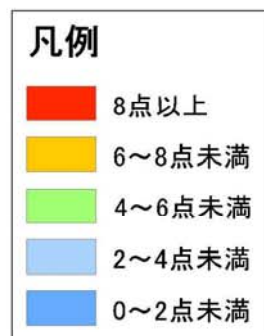
各1スパンにおける評価点	
特定事業所への影響	評価点
ある	10
ない	0



図－5.2.11 高濃度汚濁排水の漏水による土壤汚染損失の評価結



影響度_浸入水処理損失(異常箇所)



浸入水処理損失

平均値	0.12
中央値	0.01
標準偏差	0.22
相関係数	0.35
最大値	1.58
最小値	0.00

※ 重み係数を考慮した値

浸入水処理損失 (異常箇所)

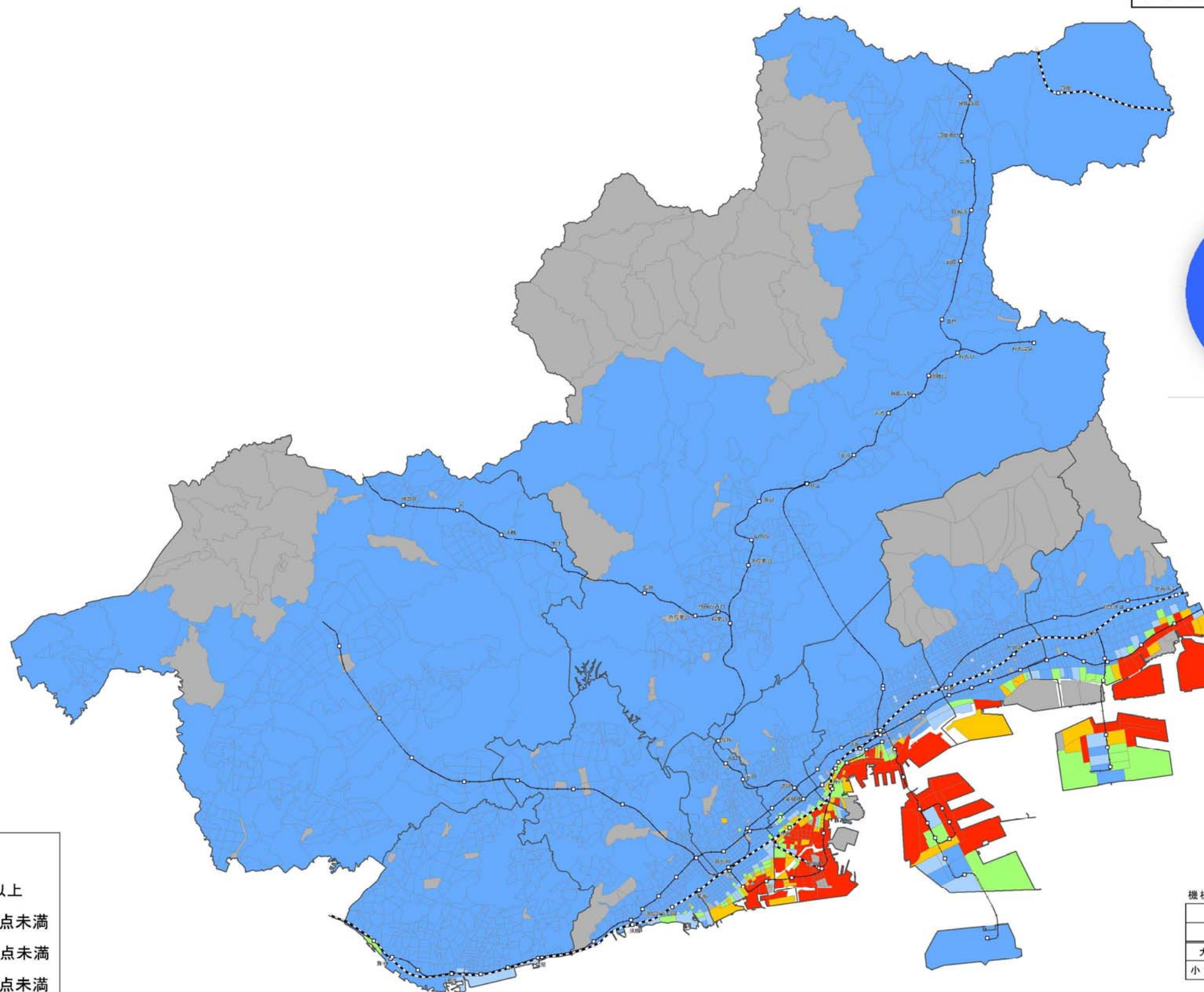
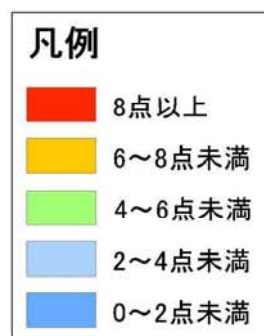
各1スパンにおける評価点	
浸入水への影響	評価点
浸入水A, Bがあり浸入水の危険性が大	10
浸入水A, Bがなく浸入水の危険性が小	0



図-5.2.12 浸入水による処理費用増大の評価結果図



影響度_機械類劣化損失(管底高)



機械類劣化損失

平均値	0.20
中央値	0.00
標準偏差	0.48
相関係数	0.22
最大値	1.91
最小値	0.00

※ 重み係数を考慮した値

機械類劣化損失(管底高)

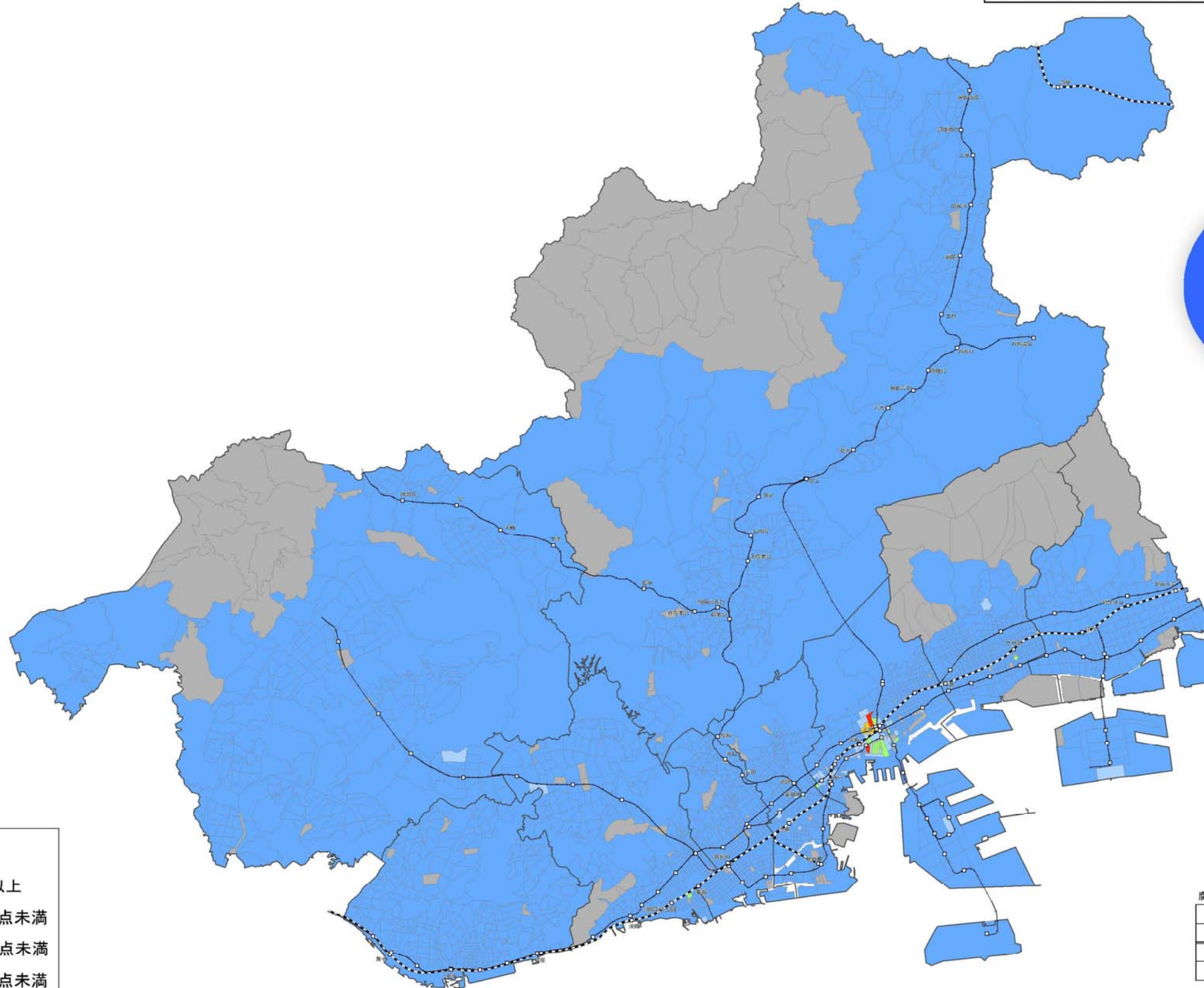
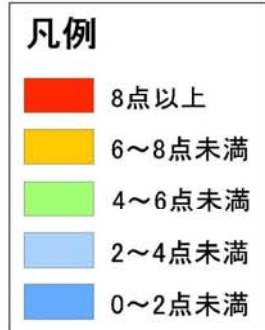
各1スパンにおける評価点	
海水が浸入する危険性	評価点
大きい(管底高KOP+2.20mより深い)	10
小さい(管底高KOP+2.20mより浅い)	0



図ー5.2.13 海水の浸入による機械類劣化損失の評価結果図



脆弱性_腐食環境状態(マンホールポンプ、ビルピット)



腐食環境状況

平均値	0.06
中央値	0.00
標準偏差	0.17
相関係数	0.15
最大値	2.67
最小値	0.00

※ 重み係数を考慮した値

腐食環境状況 (マンホールポンプ、ビルピット)

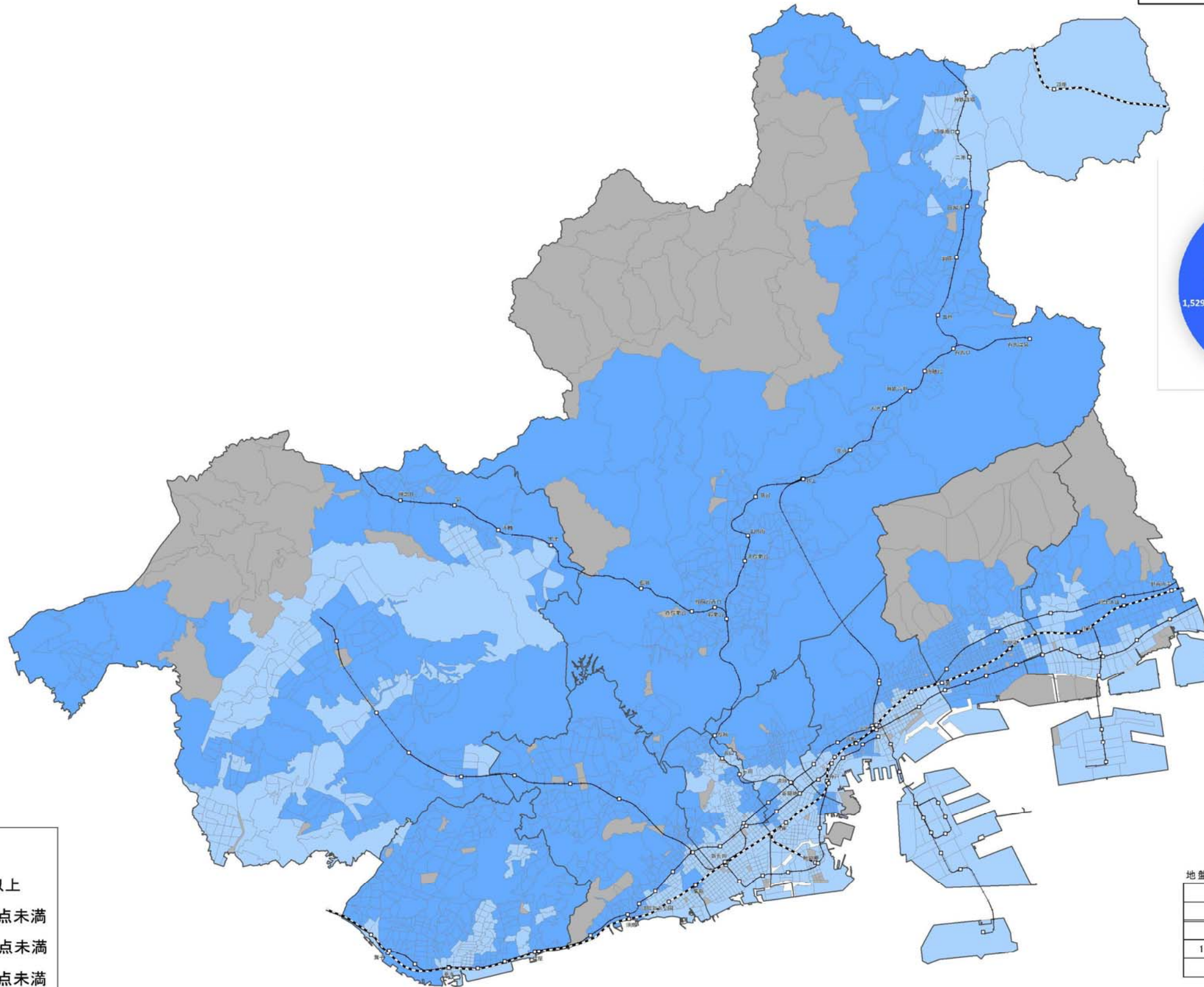
各1スパンにおける評価点	
ポンプ・ビルピットの影響	評価点
ある	10
ない	0



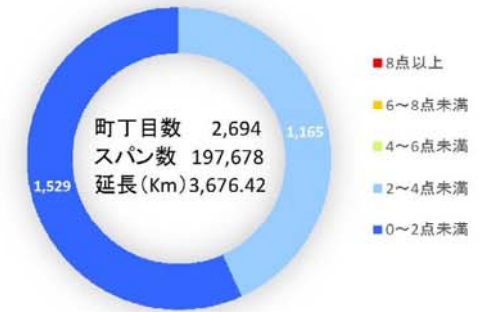
図ー5.2.14 硫化水素の発生によるコンクリート腐食の評価結果



脆弱性_地盤状況1(微地形区分)



地盤状況(微地形区分)



地盤状況(微地形区分)

平均値	0.50
中央値	0.34
標準偏差	0.25
相関係数	0.32
最大値	0.80
最小値	0.27

※ 重み係数を考慮した値

地盤状況(微地形区分)

各1スパンにおける評価点	
係数地 Cg	評価点
3.2(谷底平野)	10
1.0(扇状地、自然堤防、埋立地等)	3
0.4(山地、台地)	1

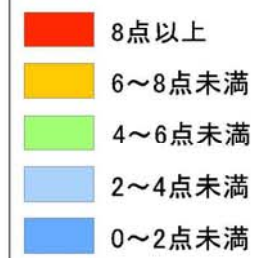


図ー5.2.15 微地形区分による継手ズレの評価結果図



脆弱性_地盤状況2(液状化)

凡例



地盤状況(液状化)



地盤状況(液状化)

平均値	0.36
中央値	0.00
標準偏差	0.70
相関係数	0.45
最大値	2.67
最小値	0.00

※ 重み係数を考慮した値

地盤状況(液状化危険度)

各1スパンにおける評価点	
液状化指数	PL値
15 < PL値	10
5 < PL値 ≤ 15	5
PL値 ≤ 5	0

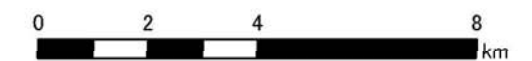


図-5.2.16 液状化による継手ズレの評価結果図

5.3 検討・研究の流れ

検討および研究のフィールドとして、まず、「神戸 JIBANKUN」のデータが比較的豊富であり、神戸市の地形的特徴を体現している山側から海側にかけての地質推定断面図が、これまでの本研究会の一連の研究で作成されている「和田岬付近」をモデル地区として選定した。

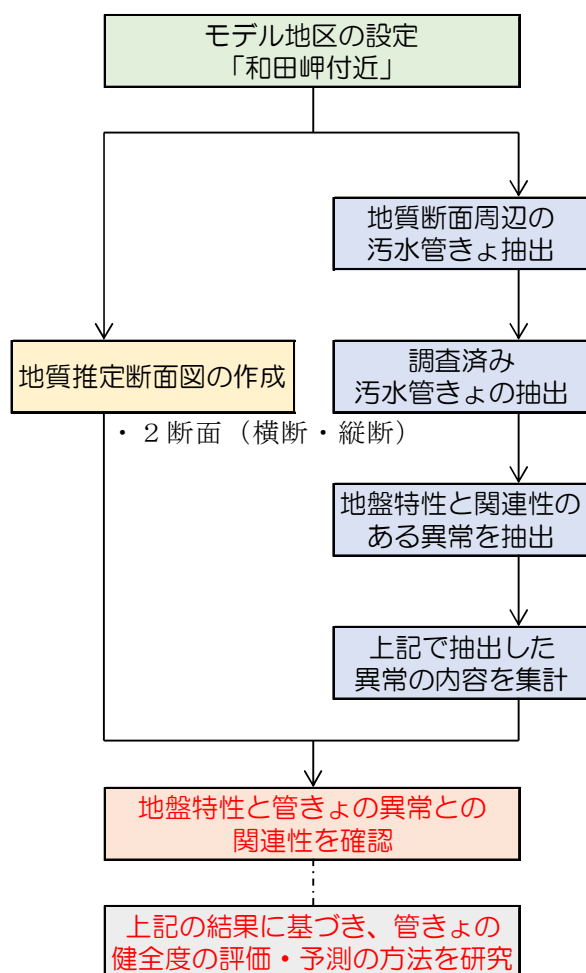
ここで、和田岬付近を「海側」のモデルとして選定しているが、本地域では山側から海側にかけての地層の変化の一部を包含していると考ええる。

また、南北・東西の変化として、神戸駅周辺と和田岬周辺の地質断面を作成し、これに該当する下水道管渠を抽出し、検討を進めることとした。地質断面図は、「神戸 JIBANKUN」のデータを用いて作成する。

抽出した下水道管渠は調査が済みのもので、健全性等の結果が示されているものである。地質断面を中心に、幅 200m の範囲の管渠を抽出した。

[選定理由]

- ① これまでに本研究会で地質の検討を行っている
➡ 和田岬付近を「海側」として選定
- ② 抽出する南北・東西の2断面の地質の変化が一定程度認められる
➡ 神戸駅周辺と和田岬周辺の地質断面を作成
- ③ 管渠の調査が比較的進んでいる
➡ 200m程度の幅で断面沿いの管渠抽出



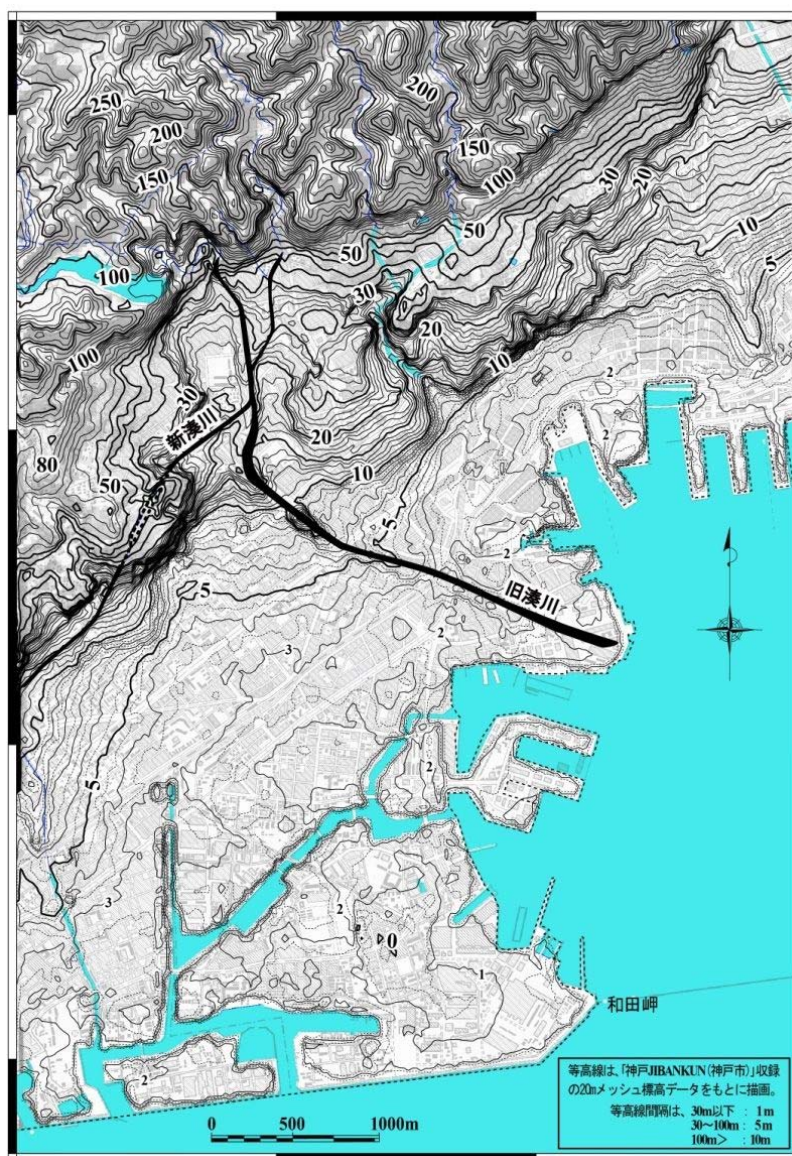
図－5.3.1 検討・研究の流れ

5.4 モデル地区の地形・地質

モデル地区の湊川～和田岬地域は、古来より、天然の良港として利用されてきた兵庫港を中心とし、12世紀後期の平安時代末期、平清盛による人工島経ヶ島の築造以来、千年以上にわたって人工改変して利用されてきた文化の要衝である。自然科学的には、湊川の流路変化と和田岬砂嘴の発達によって形成された沖積低地であり、六甲山南麓の神戸市街地域の中で沖積層が最も広く分布する地域である。

(1) 地形

表六甲水系の中では最大級の流域面積を有する湊川で代表される地域である（図－5.4.1）。湊川は、現在までに何回かの流路変化が知られている。兵庫区湊川町の洗心橋付近から南西進んで会下山公園直下を経て以前の苅藻川に合流する現在の新湊川と、洗心橋から南東進んで中央区東川崎町にいたる旧湊川が明確である。しかし、それ以前にも洗心橋付近から南下して現在の中央卸売市場付近で当時の海に注ぐ古湊川が存在が指摘されている。また和田岬は、縄文海進期（約 7,000 年前ころ）以降における海水面の低下とともに発達した標高 0～2m の低平な砂嘴地形であり、砂礫を主とする砂礫堆として形成された。



図－5.4.1 湊川～和田岬地域の微地形図

(2) 地質

旧湊川などによる排出土砂と和田岬の発達によって形成された沖積層が発達する地域である。約 7,000 年前の縄文海進期における高海面期以降の海面低下にともなって形成され、旧湊川突出部、和田岬砂嘴、苅藻川扇状地などに典型的に見られる。一方、六甲山地の境界は諏訪山断層などの活断層が分布し、明瞭な右横ずれの特徴が見られる。また、諏訪山断層の西側への延長は会下山断層と呼ばれ、山地の南側に見られる標高約 80m の丘陵をつくる大阪層群の分布地域まで連続することが確かめられている。

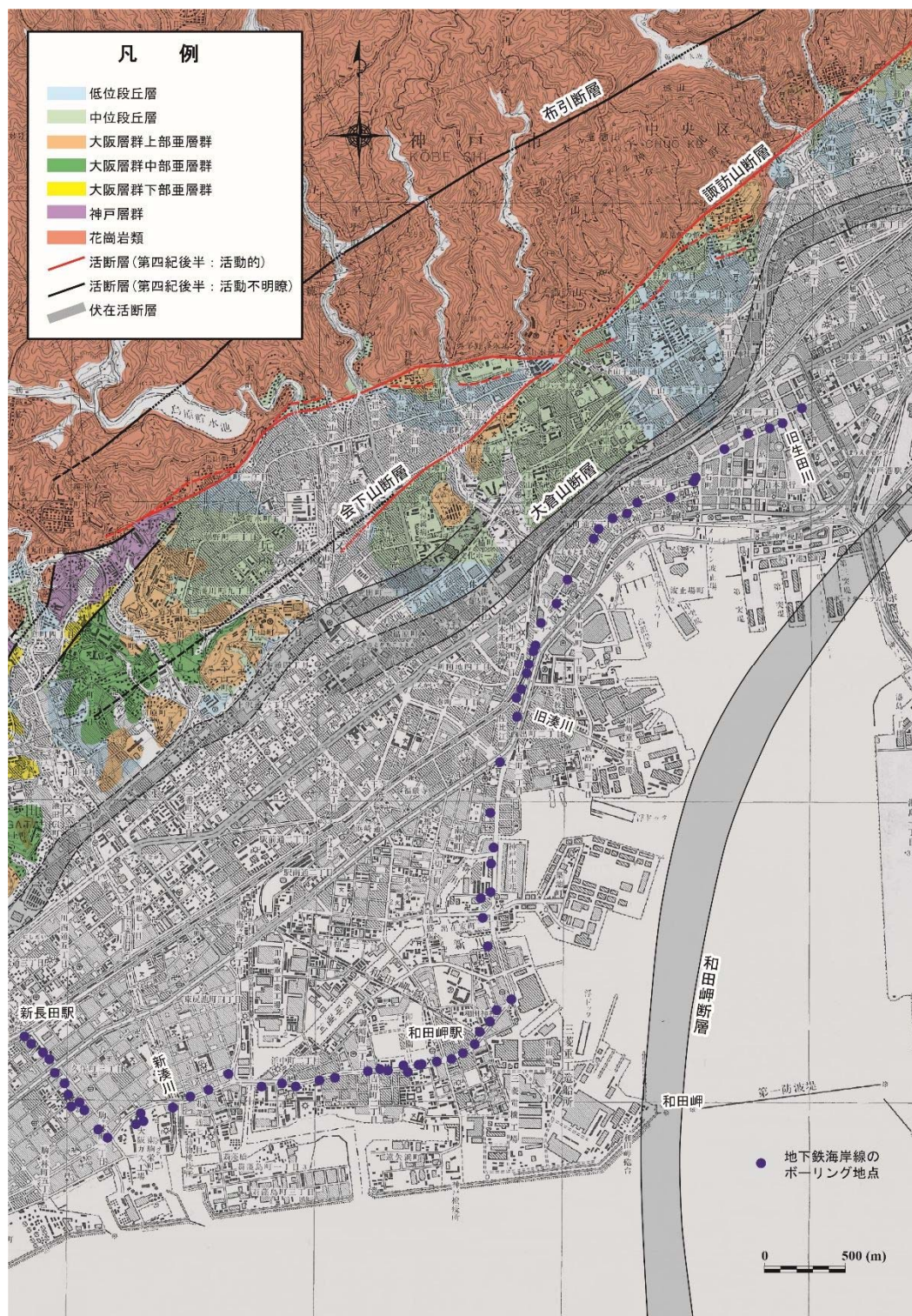


図-5.4.2 湊川～和田岬地域の地質図

(3) 地盤

平成 13 年に開業した神戸市営地下鉄海岸線の建設に伴うボーリング調査によって、この地域の地盤は飛躍的に明らかとなった。その結果を図-5.4.3 に示す。図に示すように、和田岬の形成に関する砂礫層（長田礫層），および和田岬の形成期における後背湿地性の堆積物（長田泥層）などが典型的に分布する。

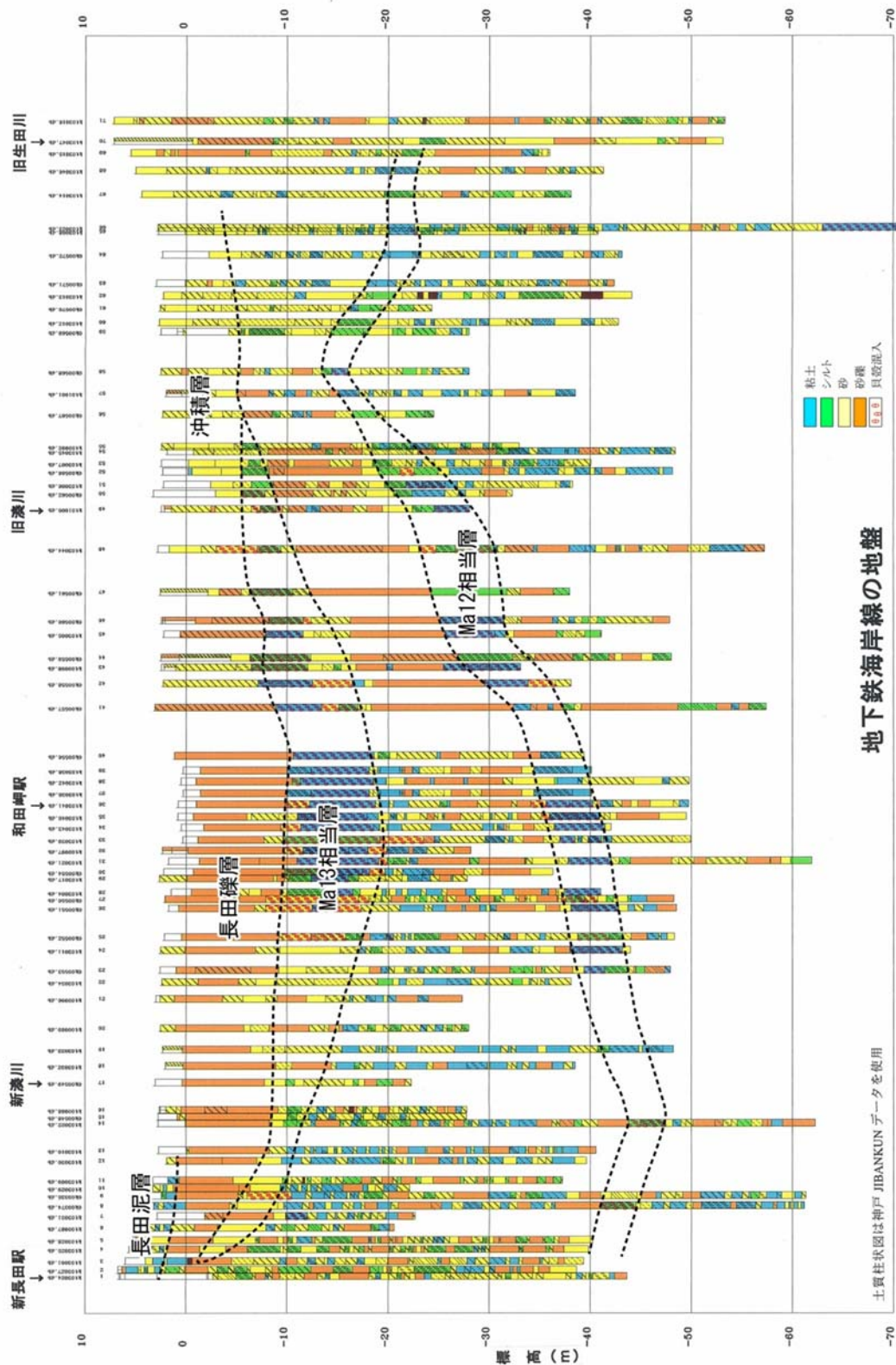


図-5.4.3 地下鉄海岸線の地質断面図

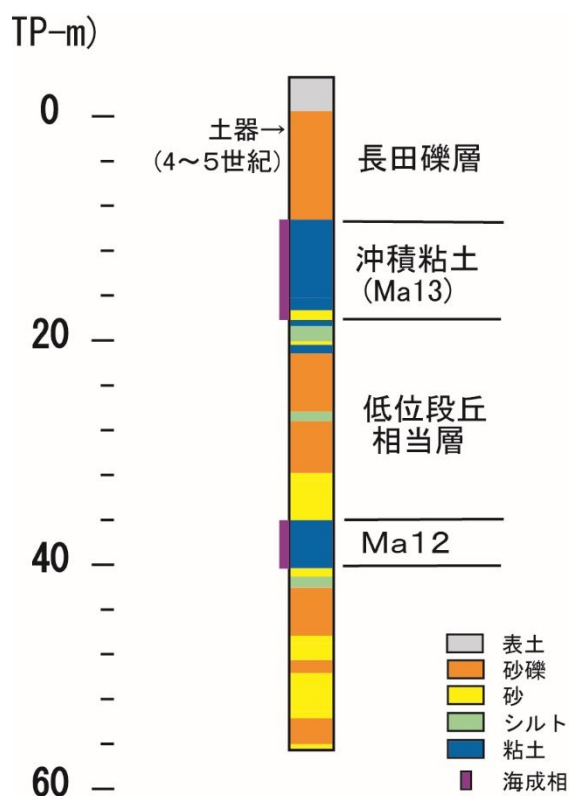


図-5.4.4 和田岬付近の模式柱状図



図-5.4.5 長田礫層より出土した土器片

図-5.4.4 に和田岬駅付近の模式柱状図を示す。図に示すように上位より、長田礫層、沖積粘土 (Ma13)、低位段丘相当層、Ma12 で構成される。最上位の長田礫層上部 (TP-1m付近) からは図-5.4.5 に示す土器片が出土している。これは神戸市営地下鉄海岸線の御崎公園車庫における工事現場において発見された土器片である。神戸市教育委員会により、この土器片は前期古墳時代にあたる 4~5 世紀に製作された土師器の口縁部であることが明らかとなった。また、その保存状態が比較的良好なことより、遠方から運ばれて埋没したものではなく、発見場所の近辺において使用されていた可能性が高いとのことである。これより、長田礫層の堆積末期はいまから 1,500~1,600 年前ころであり、和田岬の砂嘴地形もこのころに形成されていた可能性が高い。



図-5.4.6 長田礫層 (御崎公園車庫, TP-1m付近)

5.5 モデル地区の地盤性状

(1) 神戸駅周辺地区の地盤性状

神戸駅周辺の污水管渠平面図を図-5.5.1に、地質推定断面図を図-5.5.2に示す。

神戸駅周辺地区の表層は、主に扇状地性の堆積物とみられる砂礫層（断面図の南側の沖積層のでは砂層になる）が分布する。大阪湾の沖積層の代表的な地層である海成粘土層（Ma13）は、旧海岸線より陸側では認められない。沖積層と洪積層の境界は不明瞭であるが、断面図では TP-10m 付近と推定され、南北方向で南側ほど沖積層が厚くなっている。沖積砂層または沖積砂礫層の N 値は 2～30、洪積砂礫層の N 値は 10～50 以上を示す。TP-20m 付近以下では、比較的密な締め具合の砂質土と硬質な粘性土の互層となっている。地下水位は GL-2～3m（TP±0m 付近）である。

(2) 和田岬周辺地区の地盤性状

和田岬周辺地区の污水管渠平面図を図-5.5.3に、地質推定断面図を図-5.5.4に示す。

和田岬周辺地区の表層は、長田礫層と呼ばれる沖積砂礫層が TP-5～-10m まで分布し、以下は Ma13 と推定される沖積粘土層と沖積砂層が、TP-10～-20m まで分布する。断面図では北西～南東方向で南東側ほど沖積層厚が厚くなっている。以深の洪積層は上部に砂層と粘土層が薄く分布し、以下は砂礫層が厚く堆積している。沖積砂礫層の N 値は 2～40 以上、沖積粘土層と砂層は概ね N 値 10 以下、洪積砂礫層の N 値は 30～50 以上を示す。地下水位は GL-2～3m（TP±0m 付近）である。



図-5.5.1 神戸駅周辺の污水管渠平面図

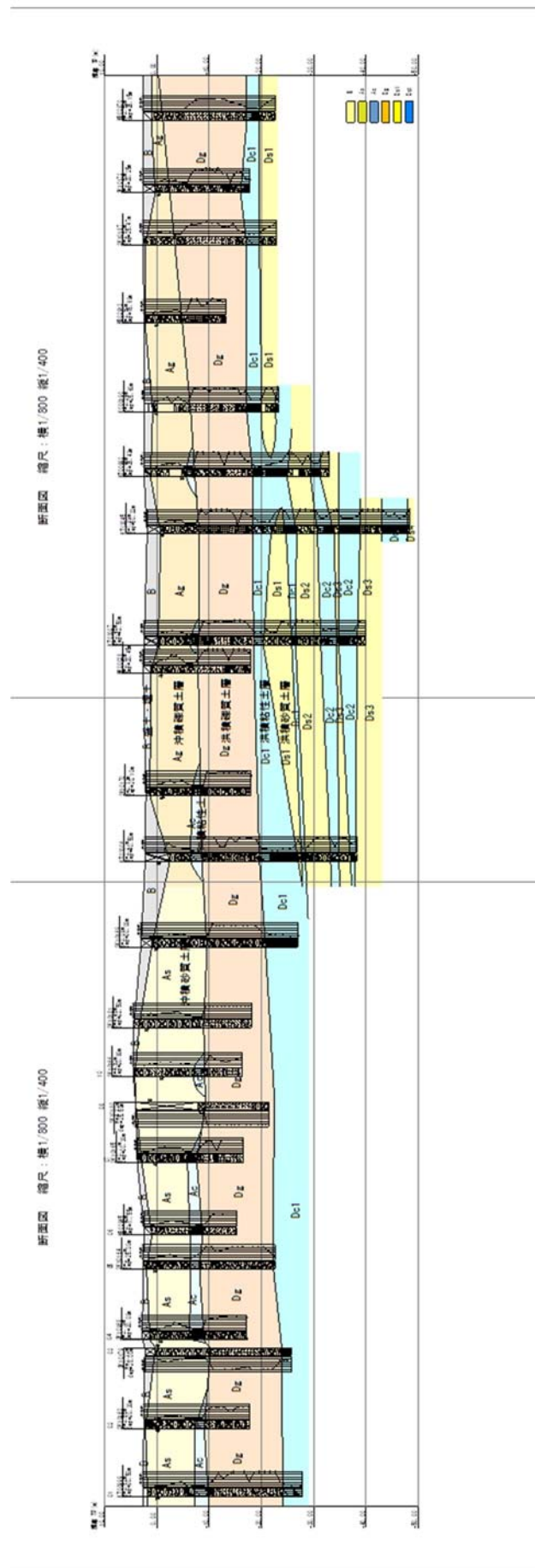
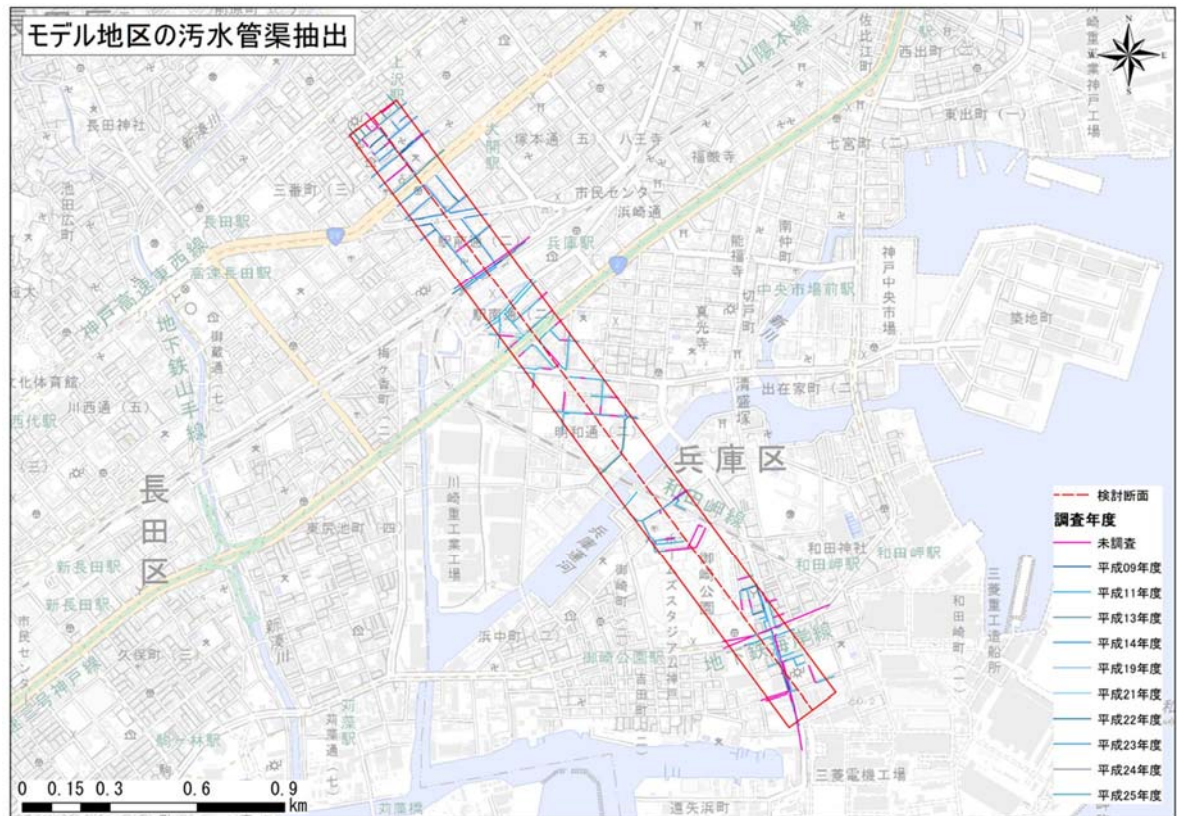
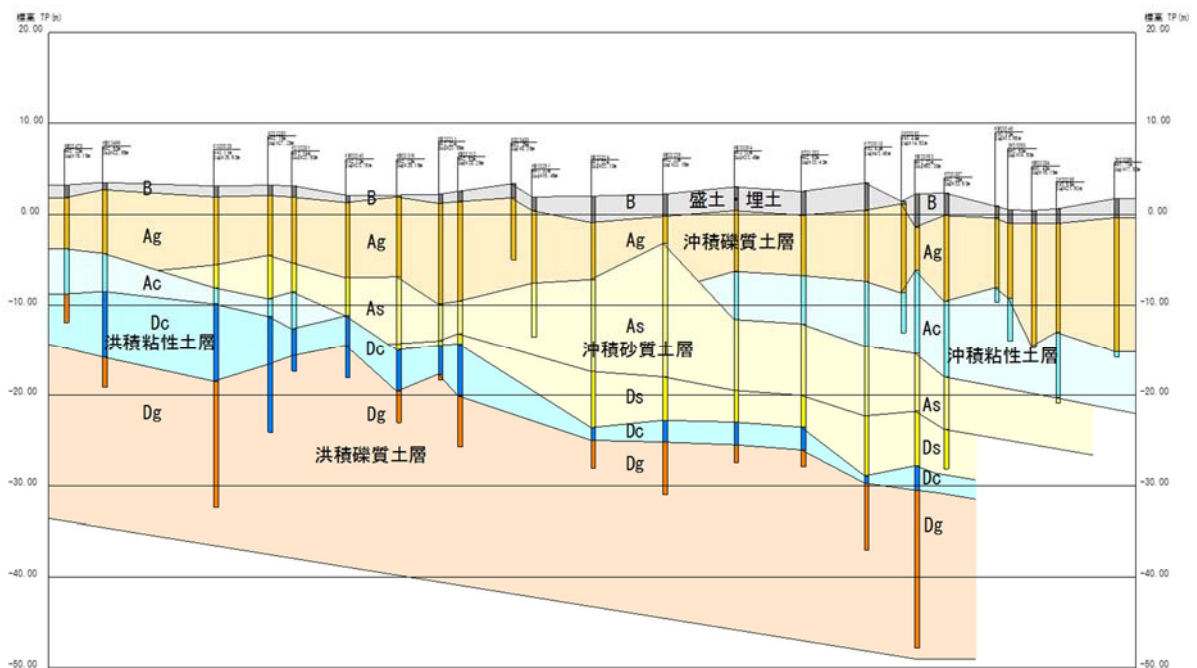


図-5.5.2 神戸駅周辺の地質推定断面図



図－5.5.3 和田岬周辺の污水管渠平面図



図－5.5.4 和田岬周辺の地質推定断面図

5.6 モデル地区の縦横断変化に対する地盤と下水道管渠の健全度の関係

(1) 検討断面と地盤特性

和田岬周辺エリア全域を対象とした場合、地盤と下水道管渠の異常・劣化との関係性は明瞭ではない。そこで、和田岬周辺エリアを、縦横断面に区分し、地盤特性の違いを明瞭にしたうえで、下水道管渠の異常・劣化の関連性を調べた。

和田岬周辺エリアの縦断面方向のモデル断面として、神戸駅周辺と横断面方向のモデル断面として、和田岬周辺を選定した。

神戸駅周辺の污水管渠平面図を図－5.6.1に、地質推定断面図を図－5.6.2に示す。



図－5.6.1 神戸駅周辺の污水管渠平面図

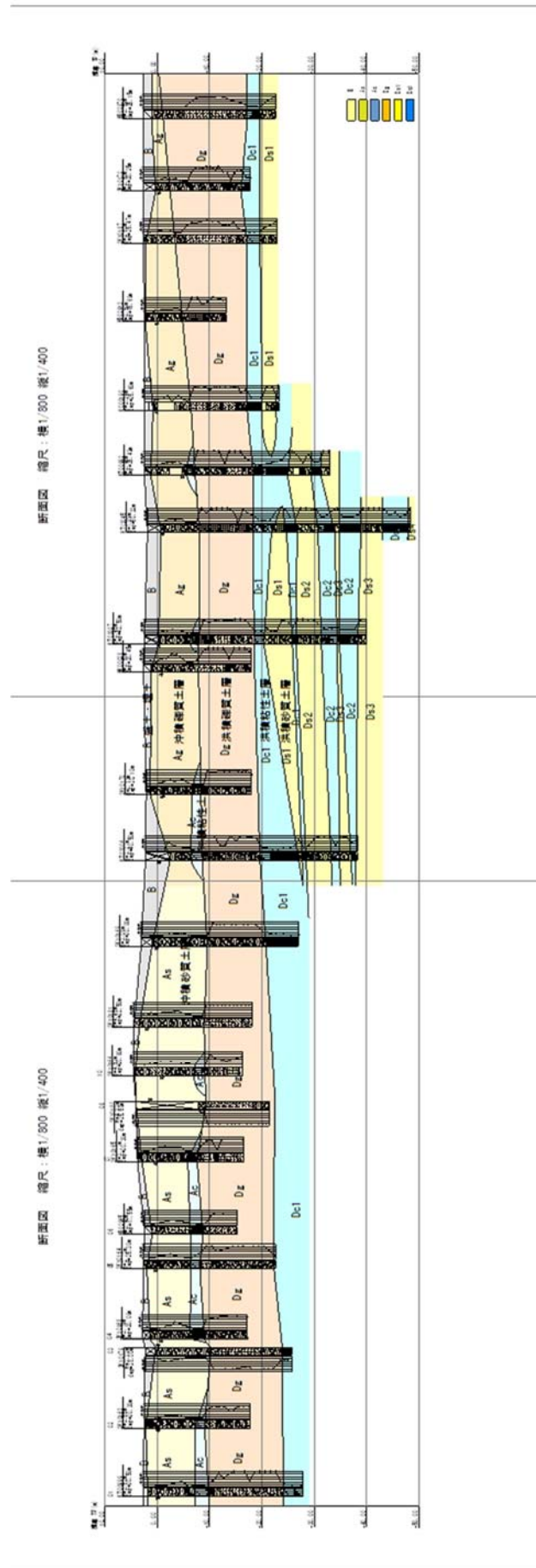
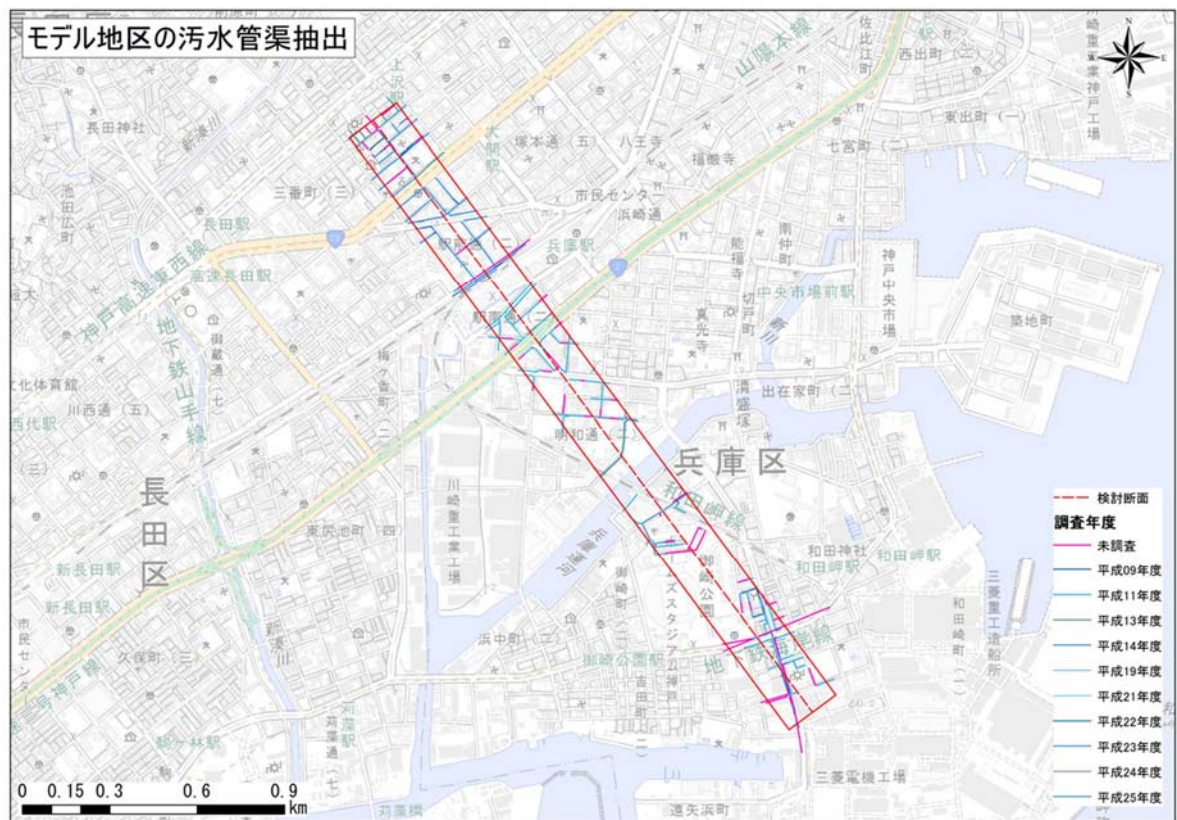
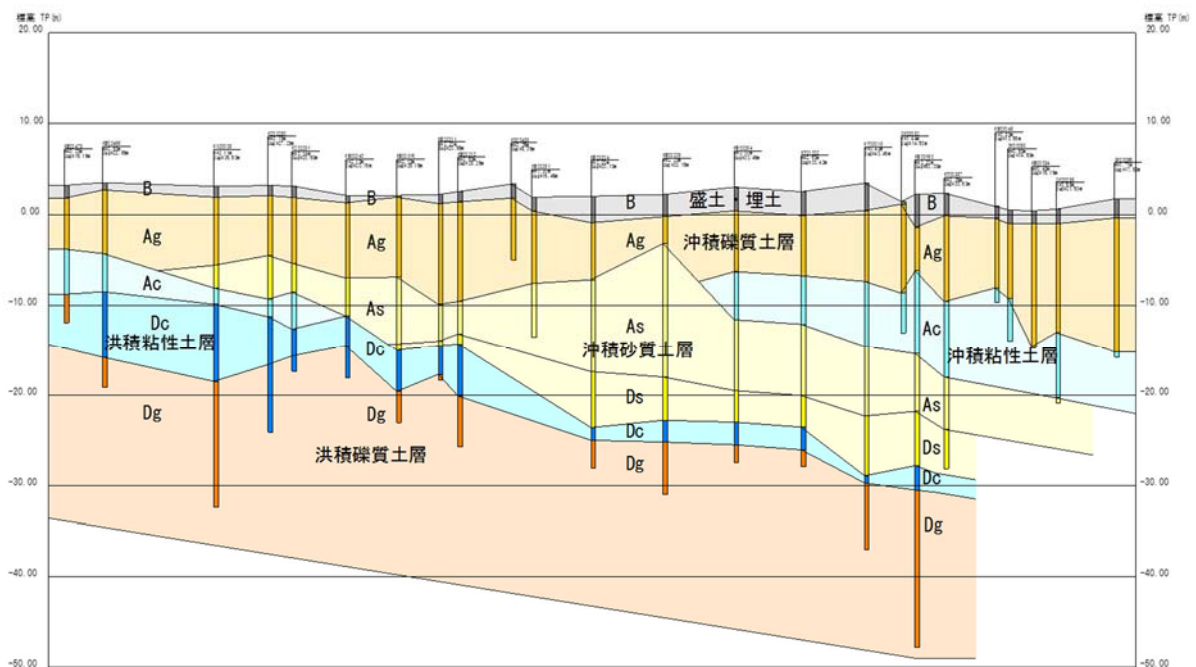


図-5.6.2 神戸駅周辺の地質推定断面図

和田岬周辺の污水管渠平面図を図－5.6.3 に、地質推定断面図を図－5.6.4 に示す。



図－5.6.3 和田岬周辺の污水管渠平面図



図－5.6.4 和田岬周辺の地質推定断面図

神戸駅周辺と和田岬周辺の地盤特性としては、污水管渠が最も多く布設されている表層地盤は沖積砂質土層と沖積礫質土層が主体となっており、大きな違いは見られない。しかし、基盤層とされる洪積礫質土層の深度は、神戸駅周辺ではTP-10m付近であり、和田岬周辺ではTP-20m～TP-30m付近である。

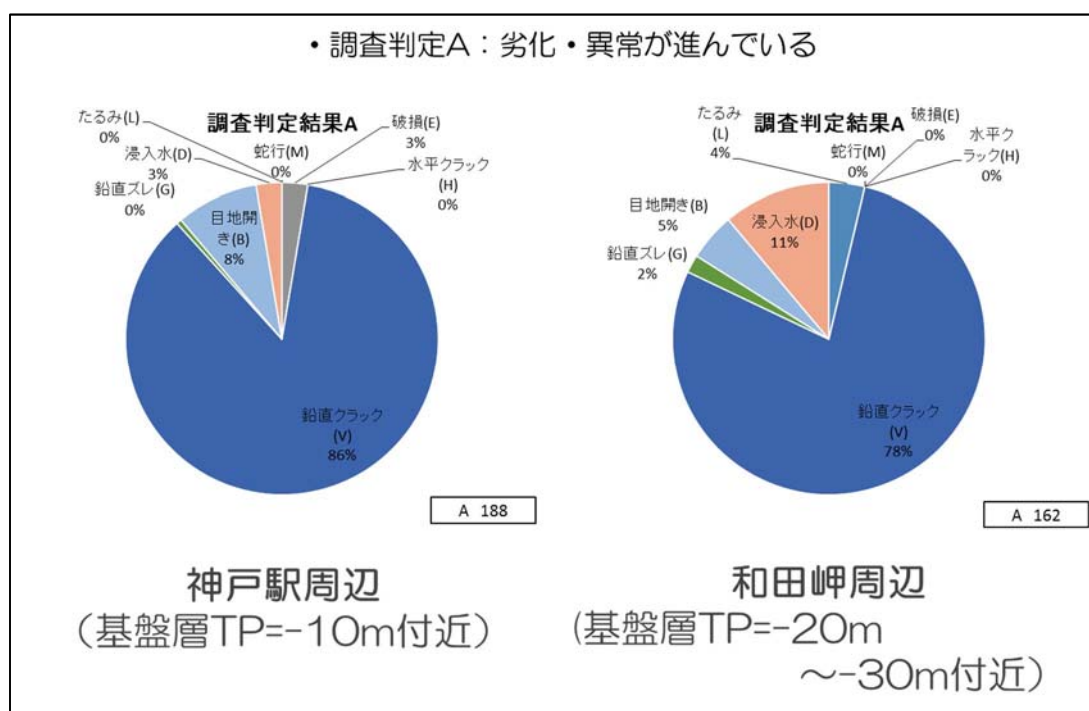
この基盤層の深度の違いに着目し、地盤と下水道管渠の異常・劣化との関係性を調べた。

(2) 地盤と下水道管渠の異常・劣化との関係性

地盤特性と関連性のある管渠の異常項目（たるみ・蛇行・破損・水平クラック・鉛直クラック・継手部鉛直ズレ・継手部目地開き・浸入水）に着目し、神戸駅周辺と和田岬周辺の管渠の異常を整理した。

管渠の異常は、管渠の劣化度（A・B・C）別に整理し、地盤特性と管渠の劣化度および管渠の異常の内容との関連性を調べた。

図－5.6.5 に調査判定 A の管渠における異常の内訳を示す。



図－5.6.5 管渠の調査判定 A の内訳

調査判定 A の管渠で最も多かった異常は、神戸駅周辺と和田岬周辺ともに鉛直クラックであった。異常箇所数としては、神戸駅周辺が 188 箇所に対し、和田岬周辺が 162 箇所と神戸駅周辺が若干多い結果であった。

図－5.6.6 に調査判定 B の管渠における異常の内訳を示す。

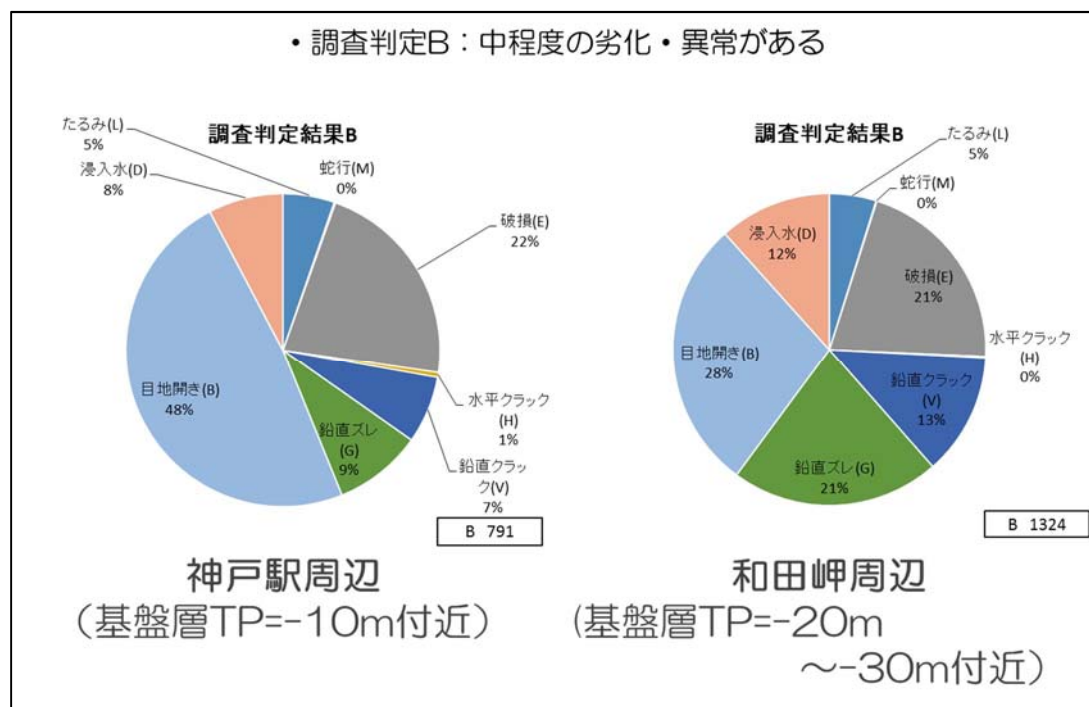


図-5.6.6 管渠の調査判定Bの内訳

調査判定Bの管渠で最も多かった異常は、神戸駅周辺と和田岬周辺ともに継手部目地開きであった。異常箇所数としては、神戸駅周辺が791箇所に対し、和田岬周辺が1324箇所と和田岬周辺がかなり多い結果であった。

図-5.6.7に調査判定Cの管渠における異常の内訳を示す。

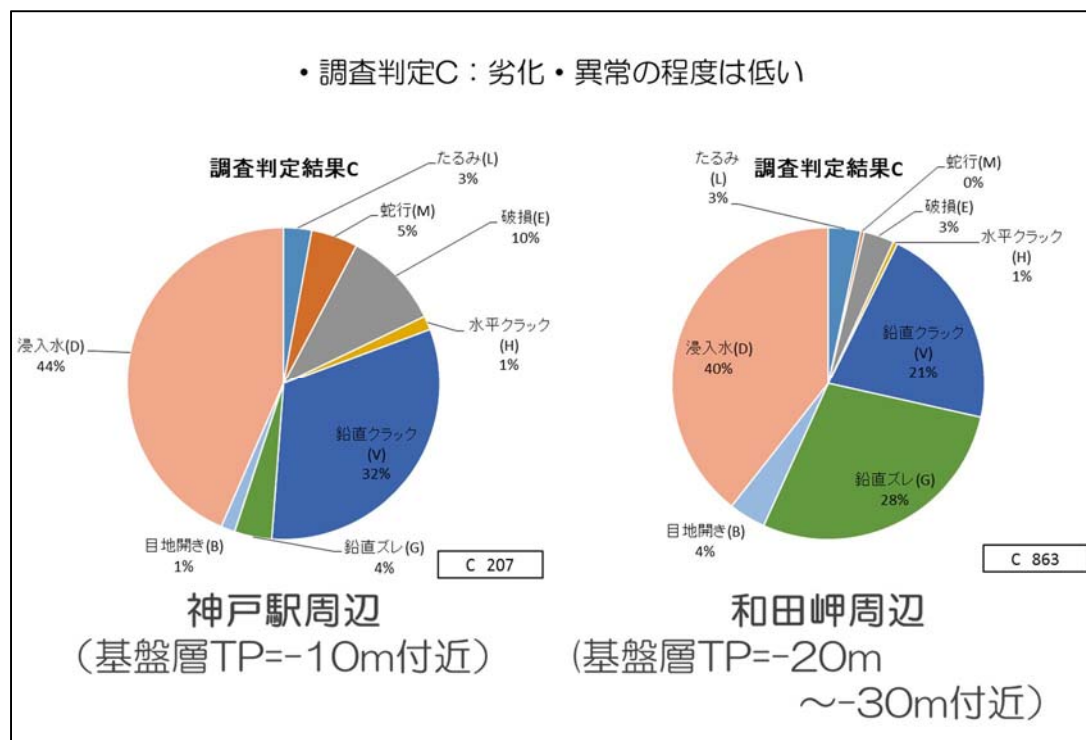


図-5.6.7 管渠の調査判定Cの内訳

調査判定 C の管渠で最も多かった異常は、神戸駅周辺と和田岬周辺ともに浸入水であった。異常箇所数としては、神戸駅周辺が 207 箇所に対し、和田岬周辺が 863 箇所と和田岬周辺がかなり多い結果であった。

これらの調査結果を、管渠の継手に関する異常と管渠本体に関する異常別に整理し、表－5.6.1 および表－5.6.2 に示す。

表－5.6.1 管渠の継手に関する異常

モデル地区		神戸駅周辺 (基盤層TP=-10m付近)			和田岬周辺 (基盤層TP=-20m~-30m付近)		
延長(m)		7701.28			12101.93		
異常のランク		A	B	C	A	B	C
たるみ(L)	異常箇所 (箇所)	0	42	6	6	64	29
		48			99		
	単位延長当たり (箇所/km)	0	6.12	0.87	0.61	6.53	2.96
		6.99			10.10		
蛇行(M)	異常箇所 (箇所)	0	1	10	0	1	3
		11			4		
	単位延長当たり (箇所/km)	0	0.15	1.46	0	0.10	0.31
		1.60			0.41		
鉛直ズレ(G)	異常箇所 (箇所)	1	72	8	3	286	244
		81			533		
	単位延長当たり (箇所/km)	0.15	10.48	1.16	0.31	29.19	24.91
		11.79			54.40		
目地開き(B)	異常箇所 (箇所)	16	383	3	8	374	33
		402			415		
	単位延長当たり (箇所/km)	2.33	55.77	0.44	0.82	38.17	3.37
		58.54			42.36		
合計	異常箇所 (箇所)	17	498	27	17	725	309
		542			1051		
	単位延長当たり (箇所/km)	2.48	72.52	3.93	1.74	74.00	31.54
		78.92			107.28		

表－5.6.2 管渠本体に関する異常

モデル地区		神戸駅周辺 (基盤層TP=-10m付近)			和田岬周辺 (基盤層TP=-20m~-30m付近)		
延長(m)		7701.28			12101.93		
異常のランク		A	B	C	A	B	C
破損(E)	異常箇所 (箇所)	5	173	21	0	275	27
		199			302		
	単位延長当たり (箇所/km)	0.73	25.19	3.06	0	28.07	2.76
		28.98			30.83		
水平クラック(H)	異常箇所 (箇所)	0	4	3	0	2	4
		7			6		
	単位延長当たり (箇所/km)	0	0.58	0.44	0	0.20	0.41
		1.02			0.61		
鉛直クラック(V)	異常箇所 (箇所)	161	55	66	127	168	183
		282			478		
	単位延長当たり (箇所/km)	23.44	8.01	9.61	12.96	17.15	18.68
		41.06			48.79		
浸入水(D)	異常箇所 (箇所)	5	61	90	18	154	340
		156			512		
	単位延長当たり (箇所/km)	0.73	8.88	13.11	1.84	15.72	34.70
		22.72			52.26		
合計	異常箇所 (箇所)	171	293	180	145	599	554
		644			1298		
	単位延長当たり (箇所/km)	24.90	42.66	26.21	14.80	61.14	56.55
		93.78			132.49		

※ 浸入水は継手に関する異常を含む

管渠の継手に関する異常は、神戸駅周辺が 542 箇所に対し、和田岬周辺が 1051 箇所とかなり多く、1km 当たりの異常箇所数も和田岬周辺が多い結果であった。管渠本体に関する異常についても、神戸駅周辺が 644 箇所に対し、和田岬周辺が 1298 箇所とかなり多く、1km 当たりの異常箇所数も和田岬周辺が多い結果であった。

これらの結果から、神戸駅周辺の汚水管渠に比べ、和田岬周辺の汚水管渠の劣化が進行していることが分かった。

5.7 地盤特性と管渠の異常について

(1) 地盤変動と管渠の異常

地震や不等沈下等の地盤変動が、管渠に異常をきたすメカニズム²⁾を図-5.7.1に示す。

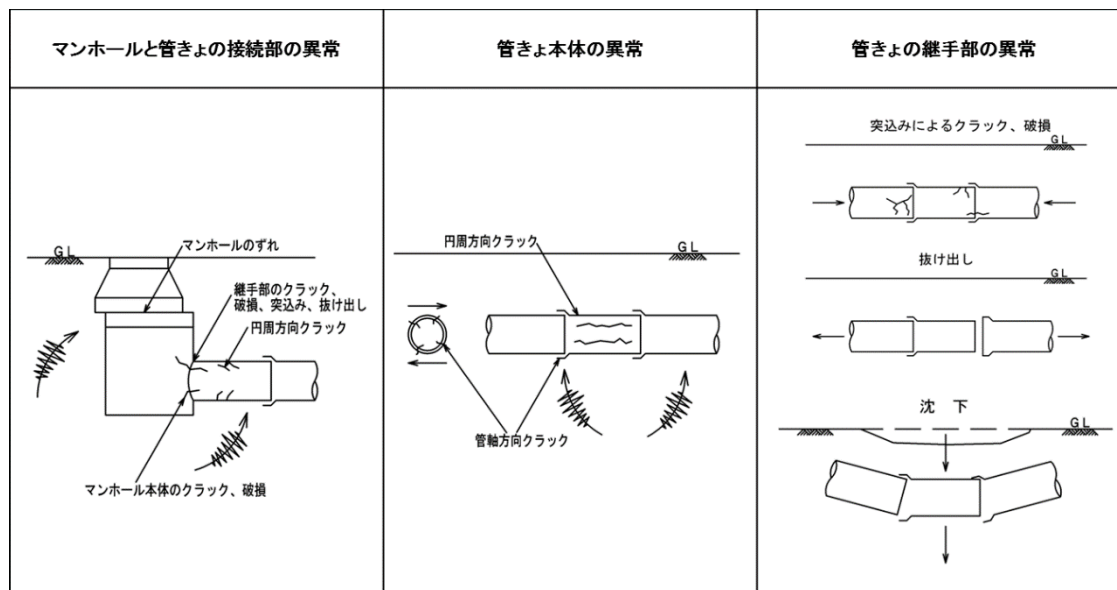


図-5.7.1 地盤変動と管渠の異常

地盤変動により影響を受ける管渠の異常には、地震動に起因し発生するものと、地盤の液状化に起因し発生するものがある。

地震動に起因し発生する管渠の異常は、破損・水平クラック・鉛直クラック・継手部目地開き等があり、地盤の液状化に起因し発生する管渠の異常は、主としてたるみ・蛇行・継手部鉛直ズレ・継手部目地開きが主となる。浸入水は、管渠本体の破損部や管渠継手部（ズレ・目地開き部）から浸入するため、地震動および地盤の液状化による影響を受けることになる。

(2) 地盤特性と管渠の異常

神戸駅周辺と和田岬周辺の管渠の異常に関する調査結果を踏まえて、図-5.7.2に地盤特性と管渠の異常の関係性について示す。

管渠の異常の内容		基盤層深度との関連
管渠の継手に関する異常	たるみ	■
	蛇行	●
	鉛直ズレ	■
	目地開き	●
管渠本体に関する異常	破損	●(A)
	水平クラック	●
	鉛直クラック	●(A)
	浸入水	■
管渠全体の異常		■

地盤特性との関連

● 基盤層が浅い方が異常の発生率が高い

■ 基盤層が深い方が異常の発生率が高い

※ (A) は、基盤層深度による異常発生率の違いは見られないが、ランクAの発生率が高い。

図－5.7.2 地盤特性と管渠の異常の関係性

管渠の継手に関する異常のうち、たるみ・鉛直ズレは基盤層位置が深い方が異常の発生率が高く、蛇行・目地開きは基盤層位置が浅い方が異常の発生率が高い結果であった。一方、管渠の本体に関する異常は、破損・水平クラック・鉛直クラックともに基盤層位置が浅い方が異常の発生率が高い結果であった。浸入水に関しては、管渠継手の異常および管渠本体の異常ともに要因として挙げられるが、基盤層位置が深い方が異常の発生率が高い結果だった。全体としては、基盤層位置が深い方が異常の発生率が高い結果となった。

以上をまとめると、破損やクラック等の管本体に異常を与える影響は、基盤層が浅い方が大きい傾向が見られ、管のたるみや鉛直ズレ等の管継手部に異常を与える影響は、基盤層が深い方が大きい傾向が見られた。

5.8 検討課題とその関連性

(1) その他地盤と管渠の関わり

これまで、基盤層の深度に着目し、検討を行ってきたが、その他地盤と管渠の関わりとしては、以下の2点が挙げられる。

①土被りの違いと管渠の異常の関連性の確認（通行車両等による上載荷重の影響）

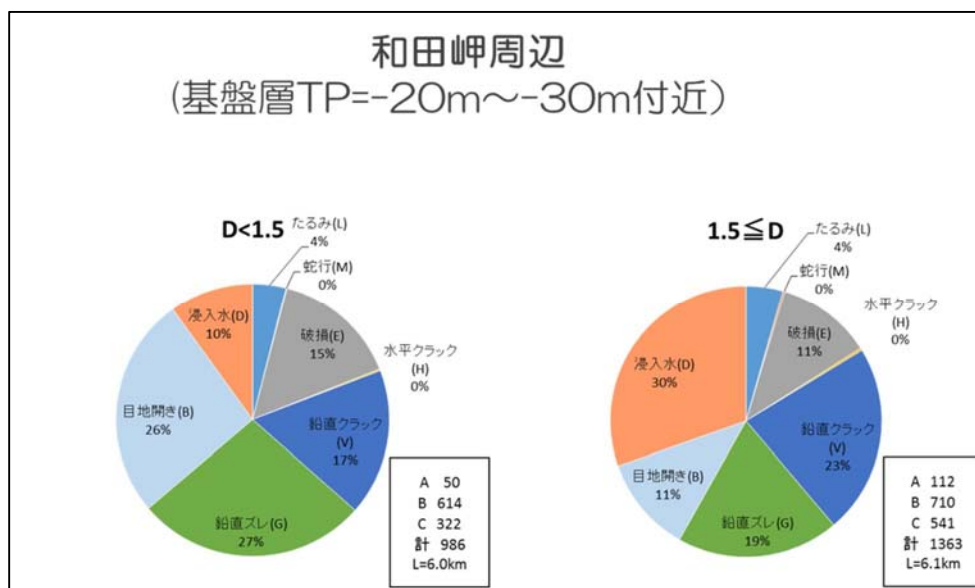
②地盤の液状化特性と管渠の異常の関連性の確認（阪神・淡路大震災による液状化の影響）

地盤の液状化特性と管渠の異常の関連性については、後で詳述するが、ここでは、土被りの違いと管渠の異常の関連性について、検討する。

(2) 土被りと下水道管渠の異常・劣化との関係性

異常・劣化の発生率が高かった和田岬周辺の管渠を対象に、土被りと下水道管渠の異常の関係について整理した。

図－5.8.1 に土被り別管渠の異常の内訳を示す。



図－5.8.1 土被り別管渠の異常の内訳

D（土被り）<1.5 の管渠で最も多かった異常は、鉛直ズレと目地開きであった。一方、 $1.5 \leq D$ （土被り）の管渠で最も多かった異常は、鉛直クラックと浸入水であった。

以上の調査結果を、管渠の継手に関する異常と管渠本体に関する異常別に整理し、表－5.8.1 に示す。

表－5.8.1 管渠の継手・管渠本体に関する異常

(箇所)

モデル地区		和田岬周辺 (基盤層TP=-20m~-30m付近)	
土被り		D<1.5	1.5≤D
管渠の継手に関する異常	たるみ	39	60
	蛇行	1	3
	鉛直ズレ	269	264
	目地開き	259	156
管渠本体に関する異常	破損	147	155
	水平クラック	2	4
	鉛直クラック	171	307
	浸入水	98	414
管渠の異常		986	1363

管渠の継手に関する異常のうち、目地開きは土被りが小さい方が異常の発生率が高く、たるみ・蛇行・鉛直ズレは土被りの違いによる変化は見られなかった。一方、管渠の本体に関する異常は、鉛直クラック・浸入水は土被りが大きい方が異常の発生率が高く、破損・水平クラックは土被りの違いによる変化は見られなかった。

なお、浸入水については、D（土被り）<1.5 の管渠は地下水位以浅の管渠が多く、1.5≤D（土被り）の管渠は地下水位以深の管渠が多いことが要因と考えられる。

以上をまとめると、管継手部の異常に関して、土被りの小さい方が異常の発生率が高い傾向が見られ、管本体の異常に関して、土被りの大きい方が異常の発生率が高い傾向が見られた。

5.9 地盤の液状化特性との関連性

(1) 液状化の検討

モデル地区として選定した和田岬周辺エリアについて、JIBANKUN データによる液状化指数(PL 値)を算定した。液状化の検討条件は以下のとおりとした。

- ① 神戸 JIBANKUN の柱状図データを利用する。
- ② 神戸 JIBANKUN データの粒度試験結果は有無がある。
- ③ D50 と Fc は、柱状図の土質名から、「道路橋示方書・同解説」に示される一般値を採用する。
- ④ 地下水位が記入されていない場合、地表面に設定する。
- ⑤ 地盤種別は一律Ⅲ種地盤とする。
- ⑥ コンター図的表現としたが、コンター図の幅などは任意とする。

なお、PL 値と液状化危険度は、表－5.9.1 のように関係づけられる。

表－5.9.1 PL 値と液状化危険度

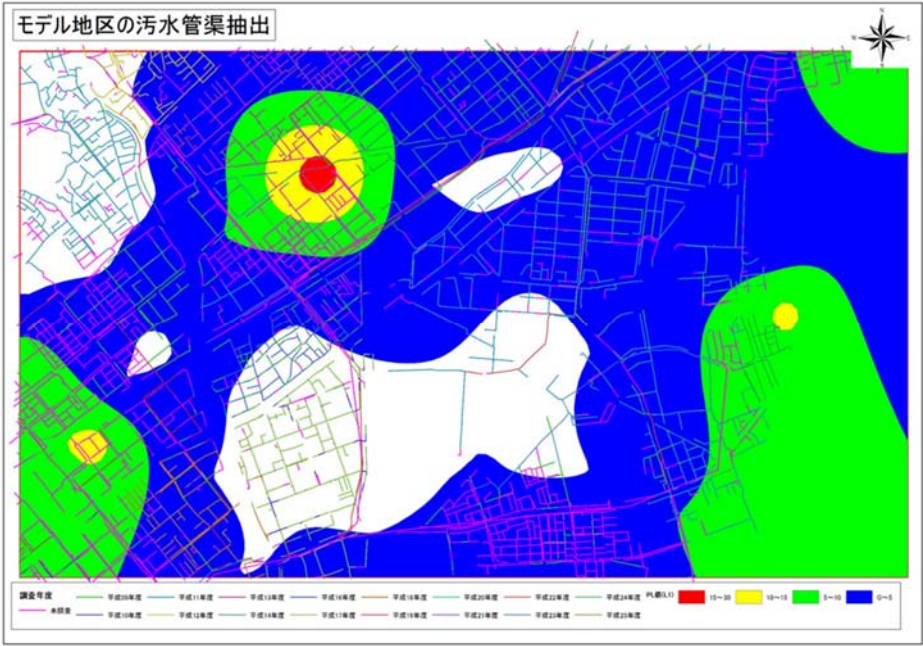
区 分	液状化危険度
PL=0	液状化危険度は極めて低い
0<PL≤5	液状化危険度は低い
5<PL≤15	液状化危険度は高い
15<PL	液状化危険度は極めて高い

上記の条件に基づき、レベル1地震動・レベル2地震動（タイプ1）・レベル2地震動（タイプ2）について、液状化の検討を実施し、和田岬周辺エリアを対象に地盤の液状化特性と下水道管渠の異常の関係について整理した。

なお、検討方法は、「道路橋示方書・同解説 平成24年3月」²⁾に準拠した。

(2) 地盤の液状化特性と下水道管渠の異常・劣化との関係性

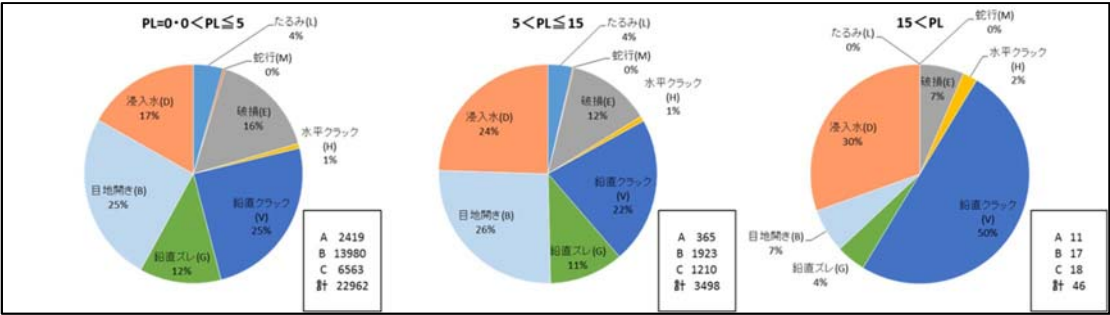
レベル1 地震動における液状化検討結果（PL 分布）を図－5.9.1 に、液状化危険度別管渠の異常の内訳を図－5.9.2 に示す。



図－5.9.1 液状化検討結果（レベル1）

（箇所）

PL 値	たるみ(L)			蛇行(M)			破壊(E)			水平クラック(H)			鉛直クラック(V)			鉛直ズレ(G)			目地開き(B)			浸入水(D)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PL=0	41	604	368	0	32	44	72	3333	219	9	67	87	1812	2031	1824	27	1508	1239	273	5235	278	185	1170	2504
0<PL≤5	1013			76			3624			163			5667			2774			5786			3859		
5<PL≤15	6	79	43	1	5	1	11	376	45	2	7	18	235	222	301	8	208	168	59	782	64	43	244	570
15<PL	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	10	6	7	0	2	0	0	1	2	1	5	8
合計	47	683	411	1	37	45	83	3712	264	11	74	106	2057	2259	2132	35	1718	1407	332	6018	344	229	1419	3082
	1141			83			4059			191			6448			3160			6694			4730		



図－5.9.2 液状化危険度別管渠の異常の内訳（レベル1）

0<PL≤5・5<PL≤15 の分布地区の管渠で最も多かった異常は、鉛直クラック・目地開きであった。15<PL の分布地区の管渠で最も多かった異常は、鉛直クラックと浸入水であった。

レベル2 地震動（タイプ1）における液状化検討結果（PL 分布）を図-5.9.3 に、液状化危険度別管渠の異常の内訳を図-5.9.4 に示す。

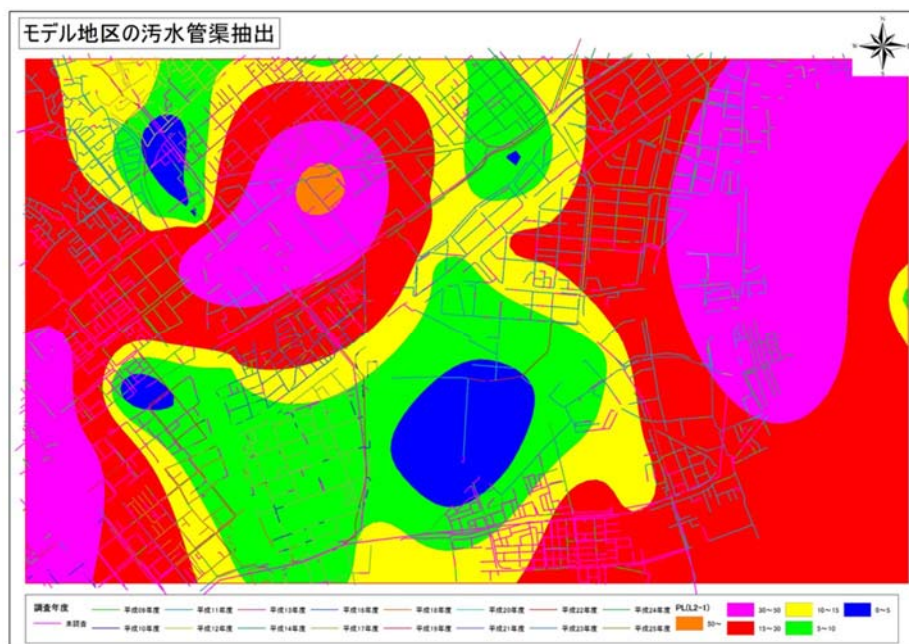


図-5.9.3 液状化検討結果（レベル2（タイプ1））

（箇所）

PL 値	たるみ(L)			蛇行(M)			破壊(E)			水平クラック(H)			鉛直クラック(V)			鉛直ズレ(G)			目地開き(B)			浸入水(D)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0<PL≤5	0	14	6	0	0	0	4	7	7	0	1	6	21	21	27	0	18	37	11	123	9	3	9	53
	20			0			18			7			69			55			143			65		
5<PL≤15	9	239	175	0	3	10	30	2032	169	5	27	44	825	814	874	15	648	581	146	2583	107	80	456	1506
	423			13			2231			76			2513			1244			2836			2042		
15<PL	38	430	230	1	34	35	49	1673	88	6	46	56	1211	1424	1231	20	1052	789	175	3312	228	146	954	1523
	698			70			1810			108			3866			1861			3715			2623		
合計	47	683	411	1	37	45	83	3712	264	11	74	106	2057	2259	2132	35	1718	1407	332	6018	344	229	1419	3082
	1141			83			4059			191			6448			3160			6694			4730		

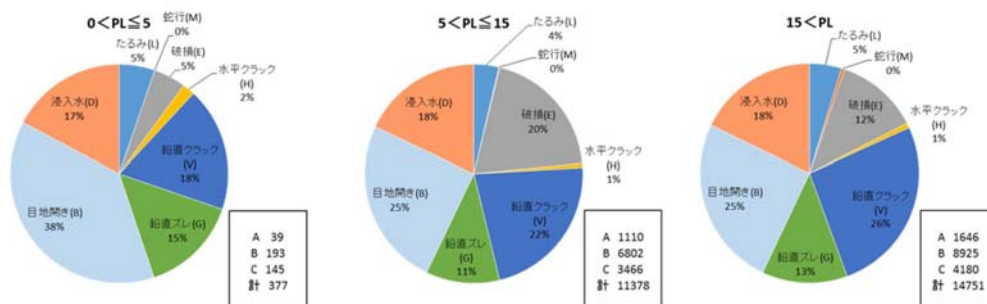
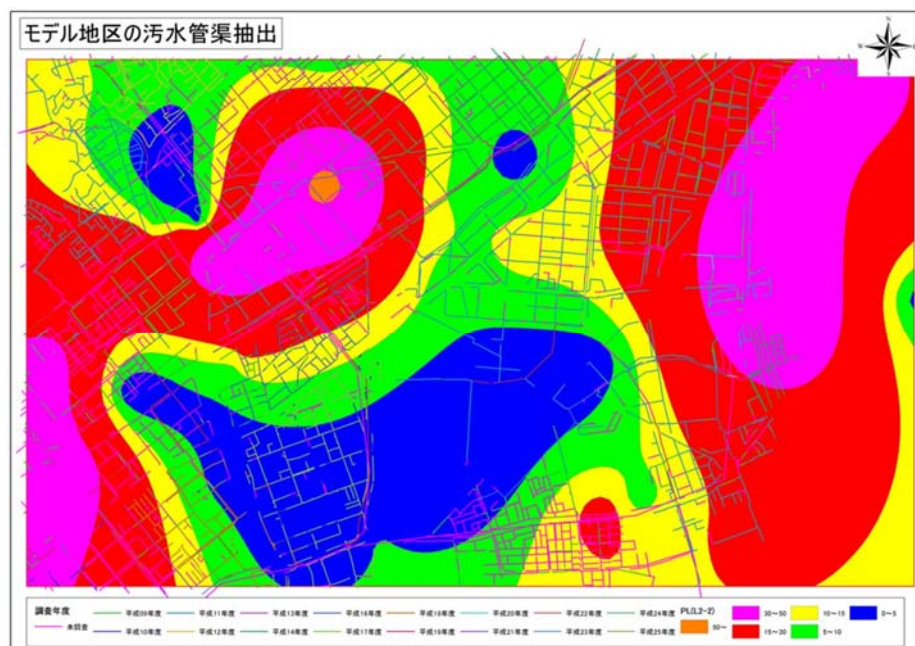


図-5.9.4 液状化危険度別管渠の異常の内訳（レベル2（タイプ1））

0<PL≤5 の分布地区の管渠で最も多かった異常は、目地開きであった。5<PL≤15・15<PL の分布地区の管渠で最も多かった異常は、目地開き・鉛直クラックであった。

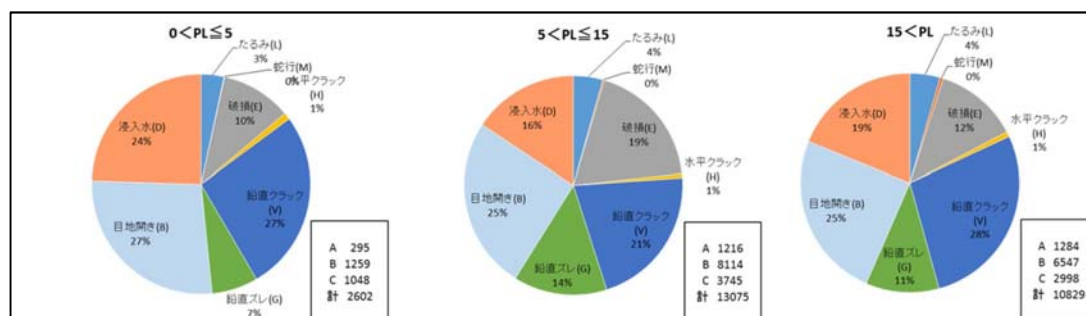
レベル2 地震動（タイプ2）における液状化検討結果（PL 分布）を図－5.9.5 に、液状化危険度別管渠の異常の内訳を図－5.9.6 に示す。



図－5.9.5 液状化検討結果（レベル2（タイプ2））

（箇所）

P L 値	たるみ(L)			蛇行(M)			破損(E)			水平クラック(H)			鉛直クラック(V)			鉛直ズレ(G)			目地開き(B)			浸入水(D)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0<PL≤5	1	36	51	0	0	2	7	177	88	2	4	20	220	200	273	4	61	113	32	640	34	29	141	467
	88			2			272			26			693			178			706			637		
5<PL≤15	19	336	214	0	8	21	33	2307	107	3	34	46	890	920	953	14	946	851	172	2979	169	85	584	1384
	569			29			2447			83			2763			1811			3320			2053		
15<PL	27	311	146	1	29	22	43	1228	69	6	36	40	947	1139	906	17	711	443	128	2399	141	115	694	1231
	484			52			1340			82			2992			1171			2668			2040		
合計	47	683	411	1	37	45	83	3712	264	11	74	106	2057	2259	2132	35	1718	1407	332	6018	344	229	1419	3082
	1141			83			4059			191			6448			3160			6694			4730		



図－5.9.6 液状化危険度別管渠の異常の内訳（レベル2（タイプ2））

液状化危険度に関係なく、最も多かった管渠の異常は、目地開き・鉛直クラックであった。ただし、 $5 < PL \leq 15$ ・ $15 < PL$ の分布地区において、破損の割合が $0 < PL \leq 5$ の分布地区に比べ多かった。

これまでの検討から、地震動レベルに関係なく、液状化危険度が高い地盤ほど、管渠全体の異常に対する管本体の異常（鉛直クラック・破損）の割合が、大きくなる傾向が見られた。一方、管渠の継手に関して、液状化危険度と管渠の異常との関係性は見られなかった。

5.10 まとめと今後の課題

本章では、和田岬周辺エリアを対象として、地盤図による下水道管渠を対象とした健全度の評価および予測に関する研究を行った。研究では、神戸市下水道管渠データと神戸 JIBANKUN データとを重ね合わせ、地盤と下水道管渠の劣化度との関係の有無について検討を行った。得られた結論および今後の課題を以下に示す。

- ① 破損やクラック等の管本体に異常を与える影響は、基盤層が浅い方が大きい結果が得られた。これは、管渠の布設位置が基盤層に近いほど、管底部と管頂部の地盤の相対変位が大きくなるため、それに伴い管に生じる地震力が大きくなることが要因と考えられる。
- ② 管のたるみや鉛直ブレ等の管継手部に異常を与える影響は、基盤層が深い方が大きい結果が得られた。これは、管渠の布設位置が基盤層から離れるほど、地盤に生じるひずみが大きくなるため、管継手部が地盤の挙動に影響を受けやすいことが要因と考えられる。
- ③ 管継手部の異常に関して、土被りの小さい方が異常の発生率が高く、管本体の異常に関して、土被りの大きい方が異常の発生率が高い結果が得られた。土被りと管渠の異常の関係性は、地盤条件のみならず、通行車両等による上載荷重の影響も大きいいため、さらに劣化要因を分析し、検討する必要があると考えられる。
- ④ 液状化により、地盤に永久ひずみが生じた場合、管渠本体の異常に比べ管渠継手の異常が多く発生すると考えられるが、今回の検討結果では、液状化危険度と管渠の異常との関係性は見られなかった。これは、和田岬周辺エリアでは、阪神・淡路大震災による液状化の影響を受けていない管渠が多かったことが考えられる。

本章の検討は、「神戸 JIBANKUN」の地質情報を活用し、下水道管の健全性との関連の有無を確認することで、汚水管渠改築更新計画の優先度判定に反映することが目的である。適切な改築更新計画を策定するうえで、地盤特性からどのような管渠の劣化が進行しているかを予測することが重要である。このためにも、今後さらに地盤特性や下水道管渠の布設条件が異なるモデル地区を選定し、データの蓄積や劣化要因の分析をしていくことが必要である。

参考文献・引用文献

- 1) 一般社団法人日本管路更生工法品質確保協会：第3回 関西地域の管路更生「神戸市における下水道管路の老朽化対策」、季刊誌「管路更生」、(オンライン)、2007、
入手先<<http://hinkakukyo.jp/local/pdf/200710-03.pdf>> (参照 2018-05-13)
- 2) 公益社団法人日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 2014 年版、第4章管路施設の耐震設計・耐津波設計、pp.126-128、2014
- 3) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編、8 章地震時に不安定となる地震の影響、pp.133-137、2012

6. 空洞調査に基づく陥没等の災害予測に関する研究（路面下空洞の傾向分析）

6.1 神戸市内の路面下空洞データの抽出および評価

(1) 空洞調査の概要

神戸市が H8～H28 で空洞調査を実施した件数は 816 件であり、H8～H24 の 17 年間で 275 件(約 16 件/年)、H25～H28 の 4 年間で 541 件(約 135 件/年)と近年、空洞調査の実施数が急増していることが確認できる。空洞調査の実施数が急増している理由として、近年全国的に道路陥没が頻繁に発生しており、空洞調査の重要性が高まってきているからと推測できる。

実際のデータより、空洞調査の空洞ごとの最終評価で「空洞」と判断されたものが 219 件、「空洞の可能性有」と判断されたものが 547 件、「その他」と判断されたものが 50 件であった。「空洞」と判断された 217 件(219 件のうち 2 件はスコープ調査結果が存在しなかった)は一次調査のレーダ探査の後、スコープ調査を実施しており、詳細なデータが存在するため、後述の傾向分析で用いるものとする。

「空洞の可能性有」と判断されたものは、大半が H25～H28 の調査分のものであり、路面陥没発生の危険度評価に則ってレーダ探査の後、スコープ調査を実施していない。路面陥没発生の危険度評価によってスコープ調査をするか否かを判断するようになった理由として、H25 から空洞調査実施数が急増しており、全てを詳細に調査すると作業量・費用が膨大になってしまうため、危険度の高い空洞だけを詳細に調査する必要があるからである。

「その他」と判断されたものは空洞ではなく埋設物・異物の可能性が高いものあるいは異常がないと判断されたものである。

「空洞の可能性有」・「その他」と判断された 599 件は次節 6.2 の 2) の傾向分析では用いていない。

次節 6.1 (2) 空洞箇所の傾向分析では、路面下の空洞調査を実施した年度、空洞発生の道路種別、空洞発生位置座標や空洞の深度・規模(厚み、縦横断長さ、面積、体積)のデータを抽出することで本業務対象地域の路面下空洞の性質を考察する。

(2) 空洞箇所の傾向分析

1) 道路種別

道路種別の路面下空洞を図-6.1.1 に示す。図より空洞発生箇所の大半が車道であることがわかる。このことから車道上の交通荷重が空洞発生要因の一つではないかと推測できる。

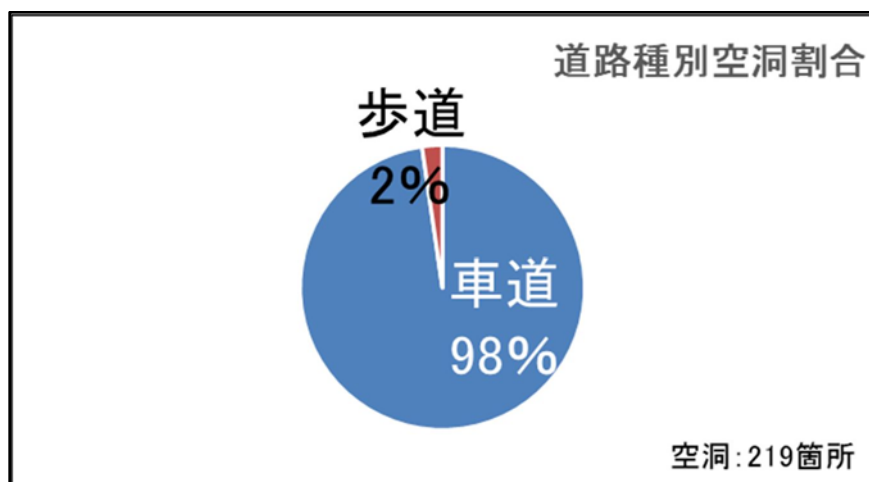


図-6.1.1 道路種別の路面下空洞割合

2) 路面下空洞の深度分布

路面下空洞の深度分布を図-6.1.2 に示す。地中レーダ探査の適用限度は、浅層範囲 1.5m である。対象地域における空洞の深度は、概ね 1.0m 以内に収まっており、路面下空洞の発生件数は、深度 0.3~0.4m にかけて急激に増加し、0.5mを凸に 0.6m以降から減少している。さらに、深度 0.4~0.6m で発生した路面下空洞が全体に占める割合は約 70%を占めており、浅層埋設で敷設されているものは、0.6m付近にかけて管渠が埋設されていることを鑑みて、この付近の管渠、具体的に雨水排水管が起因していると推測できる。

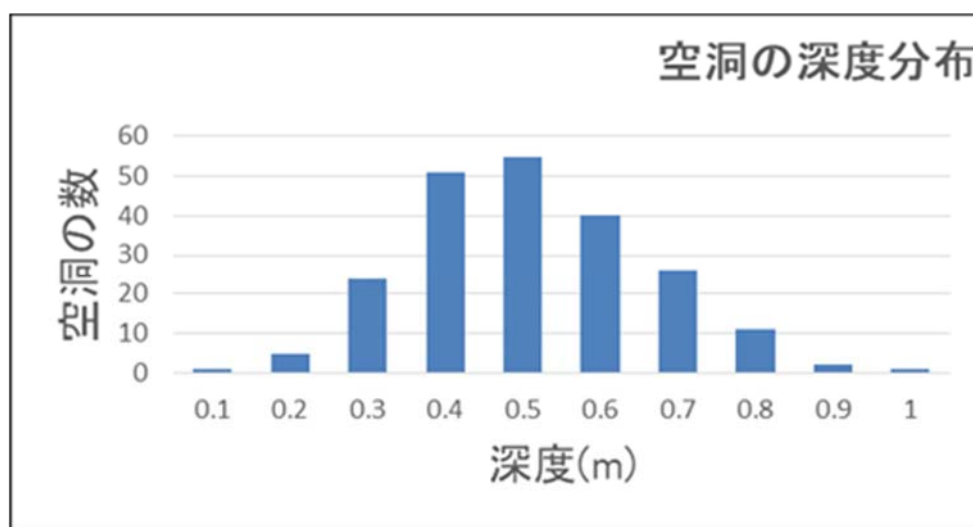


図-6.1.2 路面下空洞の深度分布

3) 路面下空洞下部の路盤材料の構成割合および地盤層の崩壊割合

空洞調査データの空洞と判断された 217 件のうち、空洞上下部に広がる路盤材料を特定した調査データ 185 件を利用し、路面下空洞下部の路盤材料の構成割合を図-6.1.3 に示す。碎石，砂，真砂土が 60%を占める結果となった。

次に、路盤材料の構成割合のうち、路面下空洞上下部の路盤材料を同一層と異層とに分けた結果を図-6.1.4 に示す。これらより、この地域の路面下空洞は 66.5%(123 件)が異層間で発生しており、交通活荷重による振動によって、異なる路盤材料の境界面で空洞が発生したと推測できる。このように推測できる理由として、同一の地盤特性で振動に対する挙動が基本的に同じとすると、同一層では振動に対して同じ挙動をするためひずみは生じにくい、異層の境界面では振動に対して異なる挙動をするためひずみが生じやすく、空洞発生の原因となり得るからである。また、異層間で生じた空洞 123 件のほとんどに関して、空洞上部がコンクリート・スラグ系の堅固な層、空洞下部が砂・まさ土・礫系の軟弱な層で構成されており、空洞下部の軟弱層が空洞上部の堅固層と比較して振動に対して挙動しやすい傾向にあることも一つの空洞発生の原因である。

一方、同一層においては、スラグによる路面下空洞の件数が増加しており、地下埋設物の破損等による土砂流出が空洞生成の一起因であると推測できる。また図-6.1.5 は空洞下部の路盤材ごとに空洞の厚みをプロットした図である。図-6.1.5 より砂混じり碎石，スラグのように細粒分と粗粒分が適切に混合される路盤材の場合、砂・まさ土・碎石と比較して締固めやすく、浸食されにくいため、空洞の厚みがより小さくなる傾向が見られた。

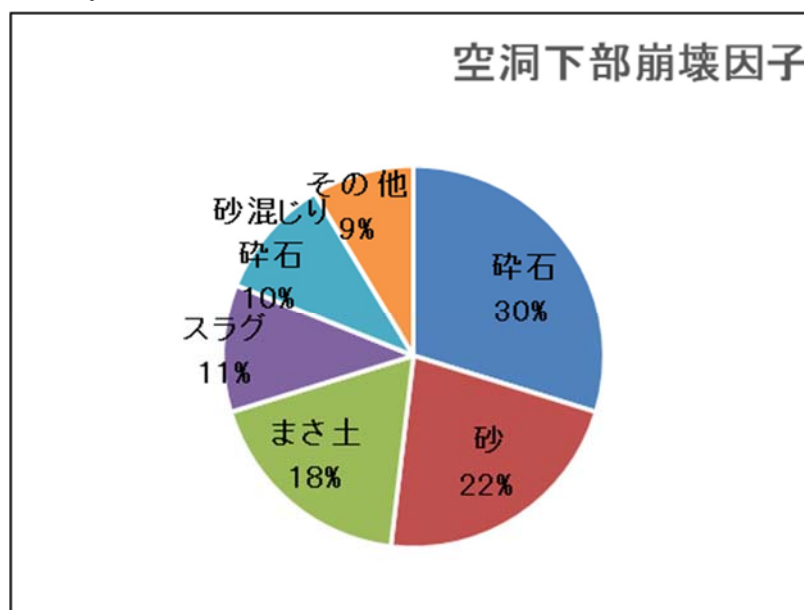
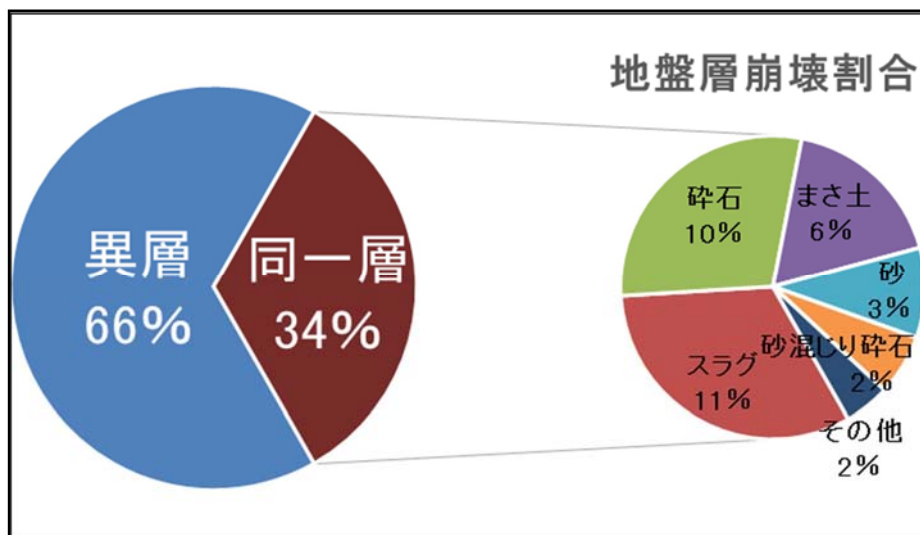
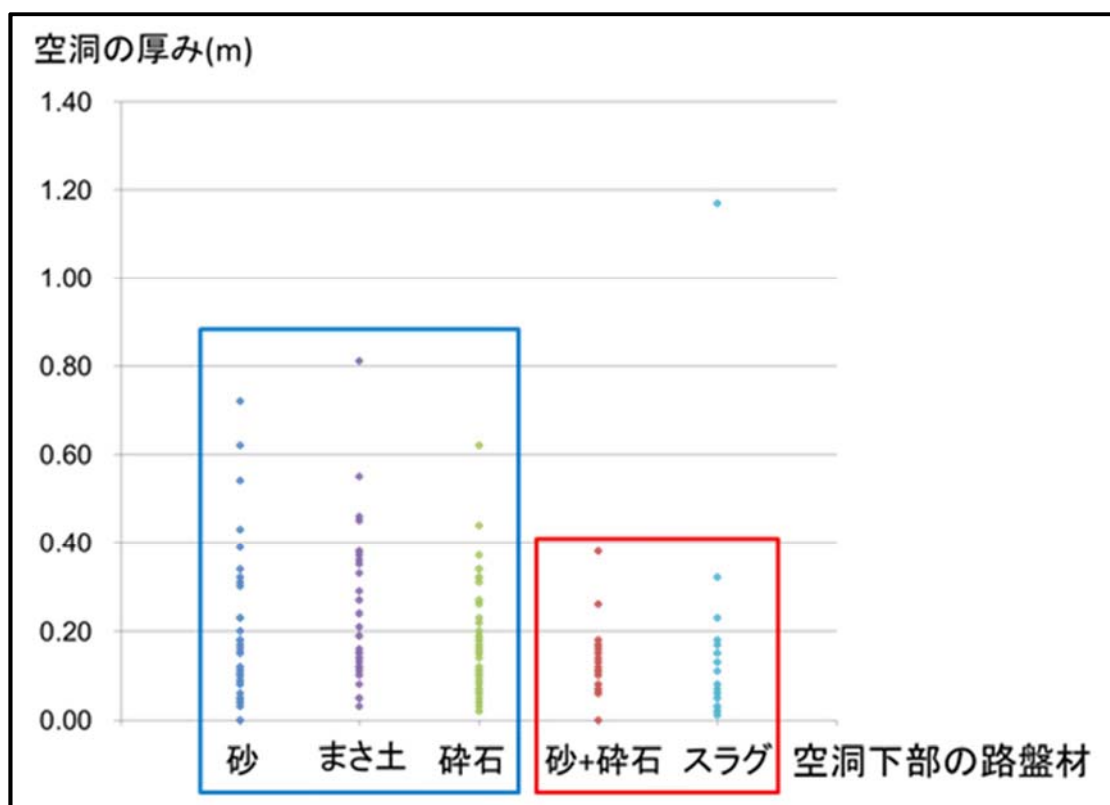


図-6.1.3 路盤材料の構成割合



図－6.1.4 地盤層の崩壊パターン



図－6.1.5 空洞下部の路盤材ごとの空洞厚み

6.2 空洞発生メカニズムの分類および事例分析

(1) 空洞の発生メカニズムの分類

空洞の発生メカニズムは非常に複雑であり、周辺環境や地下埋設物状況に非常に影響を受ける。空洞の発生メカニズムは「吸出し系」と「沈下系」の2種に大きく分類できる。

「吸出し系」の空洞は主に護岸際や水系埋設物(下水道等)の近辺で発生し、台風・豪雨の影響を大きく受け、急速に拡大する傾向にある。

「沈下系」の空洞はゆるみや空隙が時間をかけて拡大することで生じる。空洞が拡大する速度は吸出し系の空洞と比較して遅い。また「吸出し系」・「沈下系」の中でもそれぞれ2種、6種に分類できる。

(2) 空洞発生メカニズム

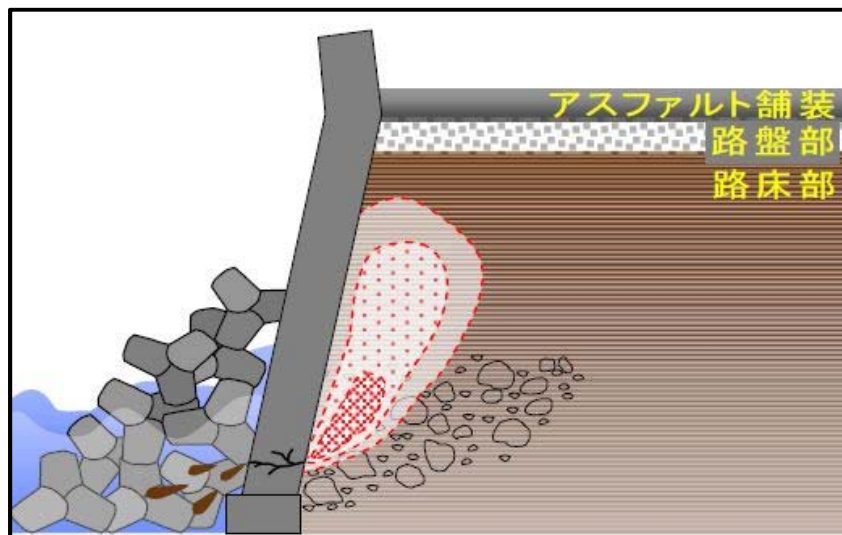
以下では、「吸出し系」・「沈下系」の空洞発生メカニズムの分類と、その分類に当てはまる代表的な事例を列挙する。代表的な事例は H24～H28 の空洞データ 31 件より抽出した。「吸出し系」2 種・「沈下系」6 種のうち今回の 31 件に含まれなかったものも存在する。具体的には、①構造物背面土砂の吸出し・③地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響・④地下埋設物・構造物埋戻し土の転圧不足・⑧コンクリート版やスラグ路盤材下の不等沈下の4種は見られたが、その他4種は見られなかった。

1) 吸出し系

a) 構造物背面土砂の吸出し

i. メカニズム

発生箇所は護岸擁壁や橋台の背面であり、地盤内へ水が流入・流出を繰り返し、徐々に土砂が浸食されることが原因である。



図ー6.2.1 構造物背面土砂の吸出し

ii. 代表的な事例

・異常箇所 No. 東部 2-6 (2-7) : H28

当該箇所は、神戸市東灘区住吉山手1丁目6地先で確認した空洞である。住吉川右岸に沿った市道にて発生していた。空洞の発生深度は0.22mと比較的浅く、空洞厚さは0.62mでH28の空洞調査にて確認された空洞の中で最も大きいものであった。また、当該箇所から約3m離れた箇所では別の空洞「東部 2-7」も確認されており、発生深度が0.26mと浅く、空洞厚さも0.39mと大きなものであった。なお、周辺に埋設物は敷設されていない。

<推測される空洞発生原因>

河川沿いの道路で発生しており、空洞の厚みが大きいこと、空洞の周辺に地下埋設物がないことから、空洞発生原因は、護岸構造物の背面土砂の吸出しにより発生したものと推測される。

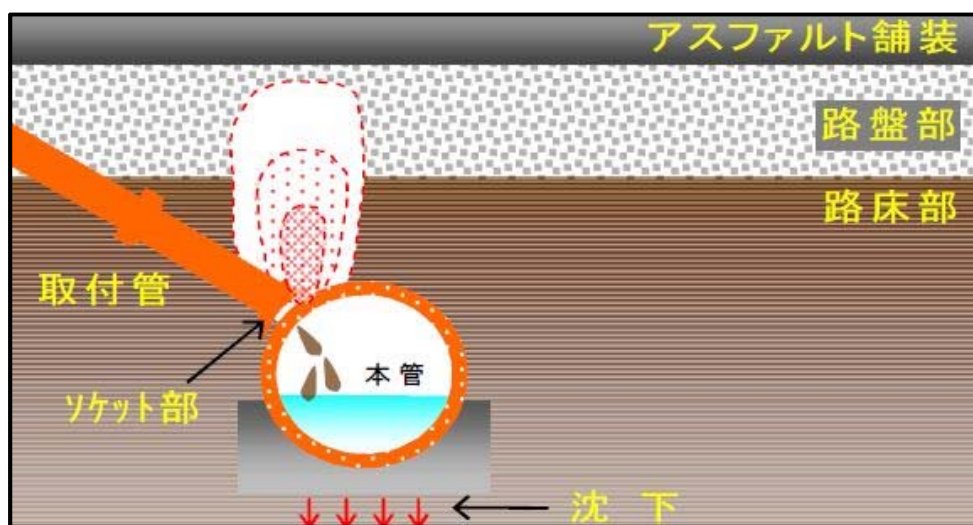


図-6.2.2 (事例) 構造物背面土砂の吸出し

a) 地下埋設物破損箇所等からの吸出し

i. メカニズム

発生箇所は地下埋設物や構造物の周辺であり，管渠等の継手部のズレ，破損箇所からの水の流入・流出の繰り返しで浸食されることが原因である。



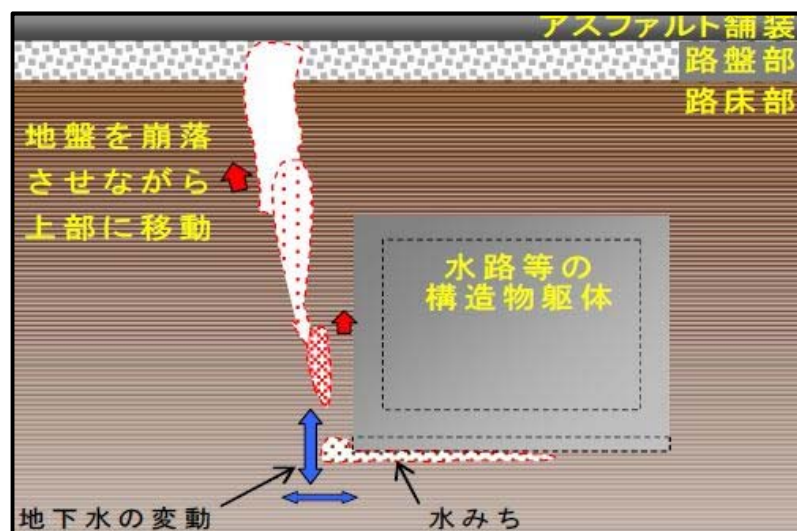
図－6.2.3 地下埋設物破損箇所等からの吸出し

2) 沈下系

a) 地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響

i. メカニズム

発生箇所は地下埋設物や地下鉄等の構造物周辺であり，地下水の変動等により構造物周辺の埋戻し土が圧密することが原因である。



図－6.2.4 地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響

ii. 代表的な事例

H24～H28 の空洞データ 31 件のうち地下鉄周辺の空洞に位置していたのは 1 件のみであったが、H28 の調査で神戸市営地下鉄の直上付近に空洞の可能性有と判断されたものが数多く見られた。地下鉄の影響によって水みちが形成され、空洞が発達していると推測できる。



図ー6.2.5 (事例)地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響

2) 沈下系

b) 地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響

i. メカニズム

発生箇所は地下埋設物や構造物の周辺であり，埋設管敷設時の転圧不足で生じたゆるみが拡大するのが原因である。

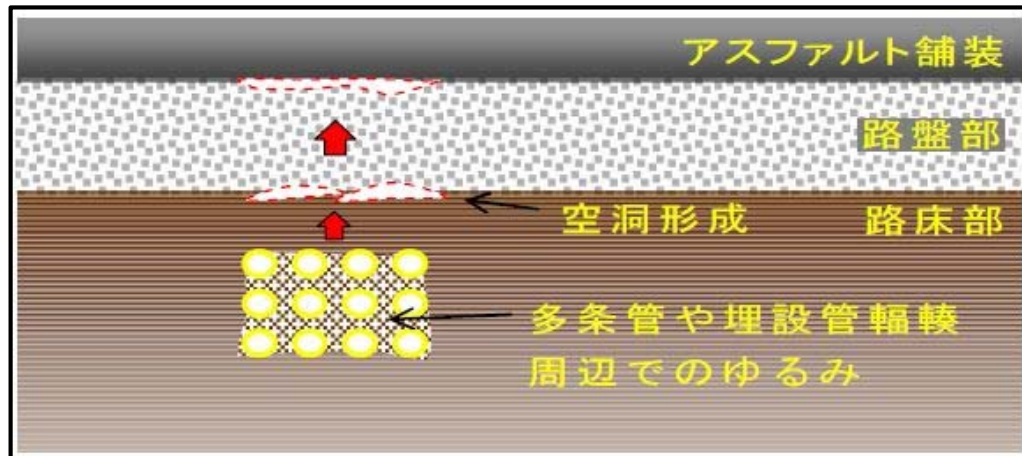


図-6.2.6 転圧不足

ii. 代表的な事例 1

- ・異常箇所 No. 東部 2-6 (2-7) : H28

当該箇所は、神戸市西区王塚台 1 丁目地先で確認した空洞である。空洞の発生深度は 0.61m で空洞厚さは 0.05m であった。空洞の周辺には下水道管とガス管が敷設されている。

<推測される空洞発生原因>

空洞の厚みが比較的小さいこと、空洞の下部に複数の埋設管が敷設されていることから、空洞発生原因は地下埋設物を埋戻した際の転圧不足により発生したものと推測される。

また、H24～H28 の空洞データ 31 件のうち地下埋設物や構造物が存在しないにも関わらず転圧不足が原因であると推測できる空洞が 4 件存在した。4 件の特徴は、全てガードレール沿い等の道路端に発生しており、空洞厚さは非常に小さいが、縦断方向に非常に大きいものであった。道路中央部は転圧しやすいが、道路端は手押し型の簡易な転圧機でしか転圧できないため、転圧がしっかりなされている部分となされていない部分でのずれが原因であると推測できる。



図－6. 2. 7 (事例) 地下埋設物埋戻し土の転圧不足

ii. 代表的な事例 2

・異常箇所 No. 41 西-1 : H27

当該箇所は、神戸市北区淡河町野瀬地先で確認した空洞である。空洞の発生深度は 0.25m で空洞厚さは 0.05m であった。ガードレール沿いに発生し、縦断方向の長さは 20.5m であった。

<推測される空洞発生原因>

空洞の厚みが比較的小さいこと、縦断方向に長く広がっていること、ガードレール沿いの道路端部であることから、空洞発生原因は道路端での転圧不足により発生したものと推測される。



図ー6. 2. 8 (事例)道路端での転圧不足

c) 埋戻し材に混入した異物(ガラ・木片など)の影響

i. メカニズム

発生箇所は埋戻し材不良箇所であり、埋戻し時に残存していた空隙や、異物の腐食で生じた空隙が拡大することが原因である。

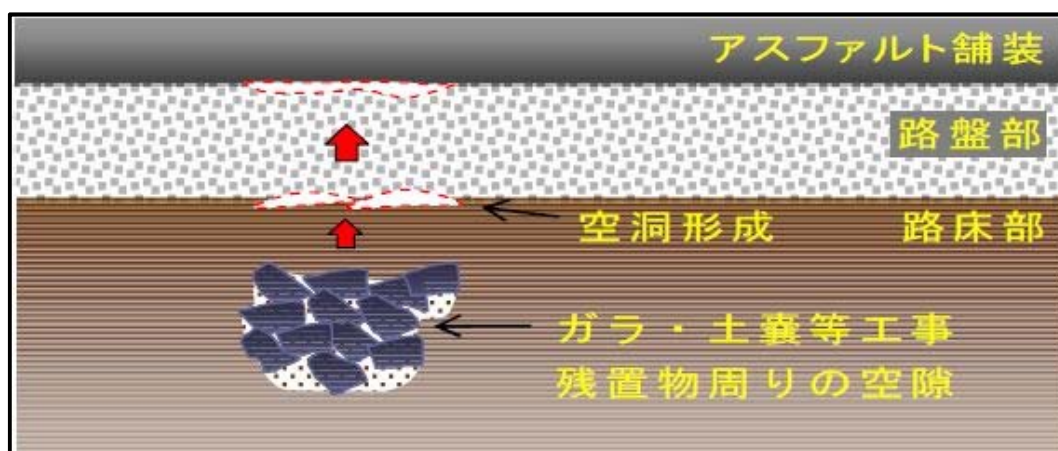


図-6.2.9 地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響

d) シールドや推進工事による影響

i. メカニズム

発生箇所はシールドや推進工法で敷設の埋設管周辺であり、掘進で生じたゆるみが一方向に集中し、空洞を形成することが原因である。

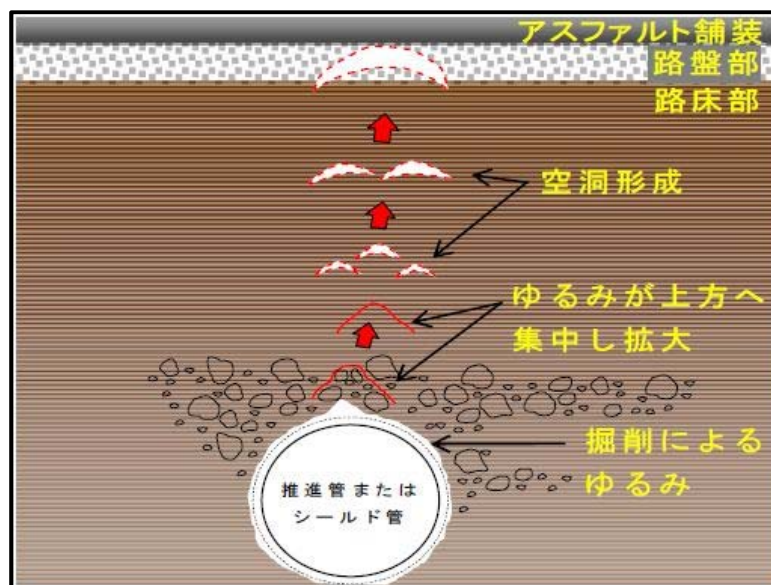


図-6.2.10 シールドや推進工事による影響

e) 残置物(矢板, 死管等)の影響

i. メカニズム

発生箇所は地下埋設物・構造物周辺であり, 残置物の処理不良によって周辺のゆるみが拡大することが原因である。

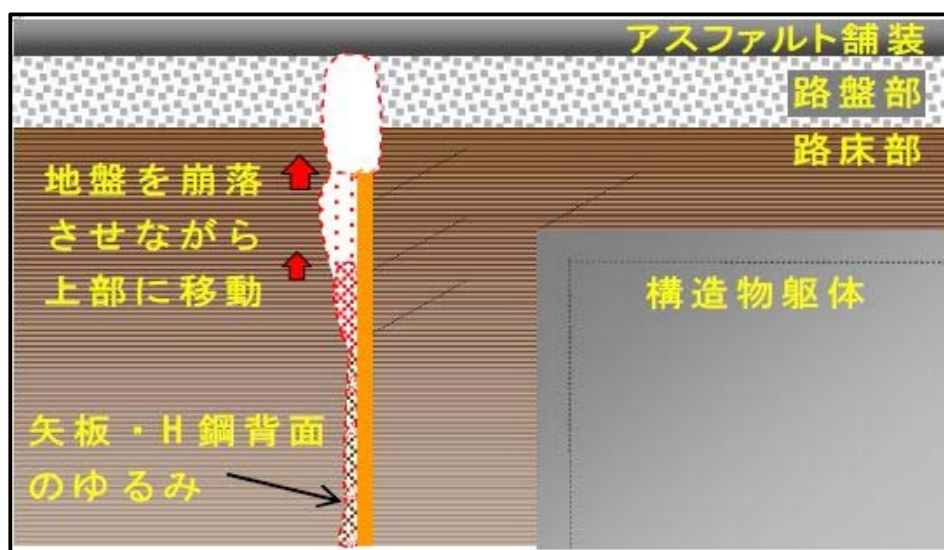


図-6.2.11 残置物(矢板, 死管等)の影響

f) コンクリート版やスラグ路盤下の不等沈下

i. メカニズム

発生箇所は地下埋設物・構造物周辺であり, 残置物の処理不良によって周辺のゆるみが拡大することが原因である。

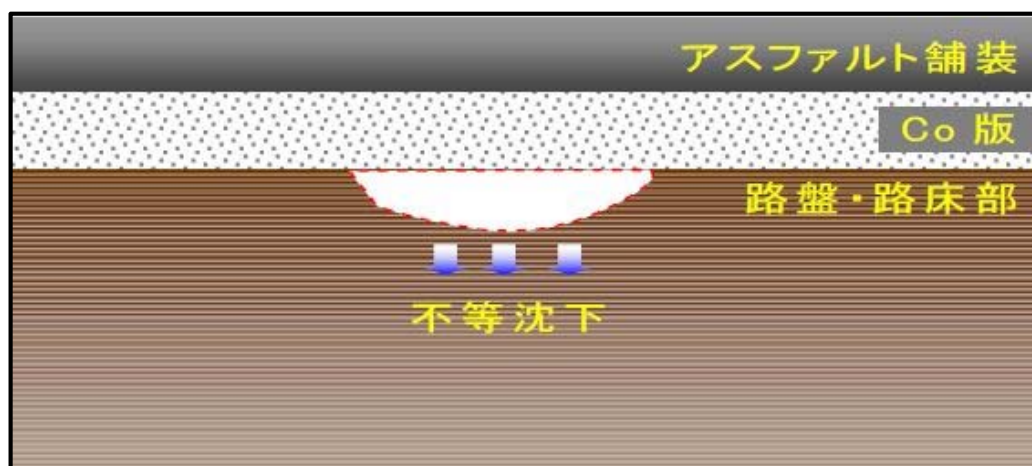


図-6.2.12 コンクリート版やスラグ路盤下の不等沈下

ii. 代表的な事例

- ・異常箇所 No. H28-38-08 : H28

当該箇所は、神戸市西区伊川谷町有瀬地先で確認した空洞である。空洞の発生深度は 0.70m で空洞厚さは 0.10m であった。空洞はコンクリート版の下で発生していた。空洞の周辺には埋設物は敷設されていない。

＜推測される空洞発生原因＞

空洞の厚みが比較的小さいこと、空洞の周辺に地下埋設物がないことから空洞発生原因はコンクリート版下の土砂の不等沈下により発生したものと推測される。



図ー6.2.13 (事例)コンクリート版の不等沈下

(3) 空洞発生メカニズムごとの分析

1) 空洞発生メカニズムの分類方法

前節(2)で空洞発生メカニズムごとに代表的な事例を列挙したが、空洞発生メカニズムは非常に複雑で、様々な要因が組み合わさって空洞発生することが多いため、概に一つの発生メカニズムに分類することは困難である。そこで空洞発生メカニズムごとの傾向を分析するために図-6.2.14 のフローチャートにて個々の空洞発生メカニズムの分類を一つに推測する。

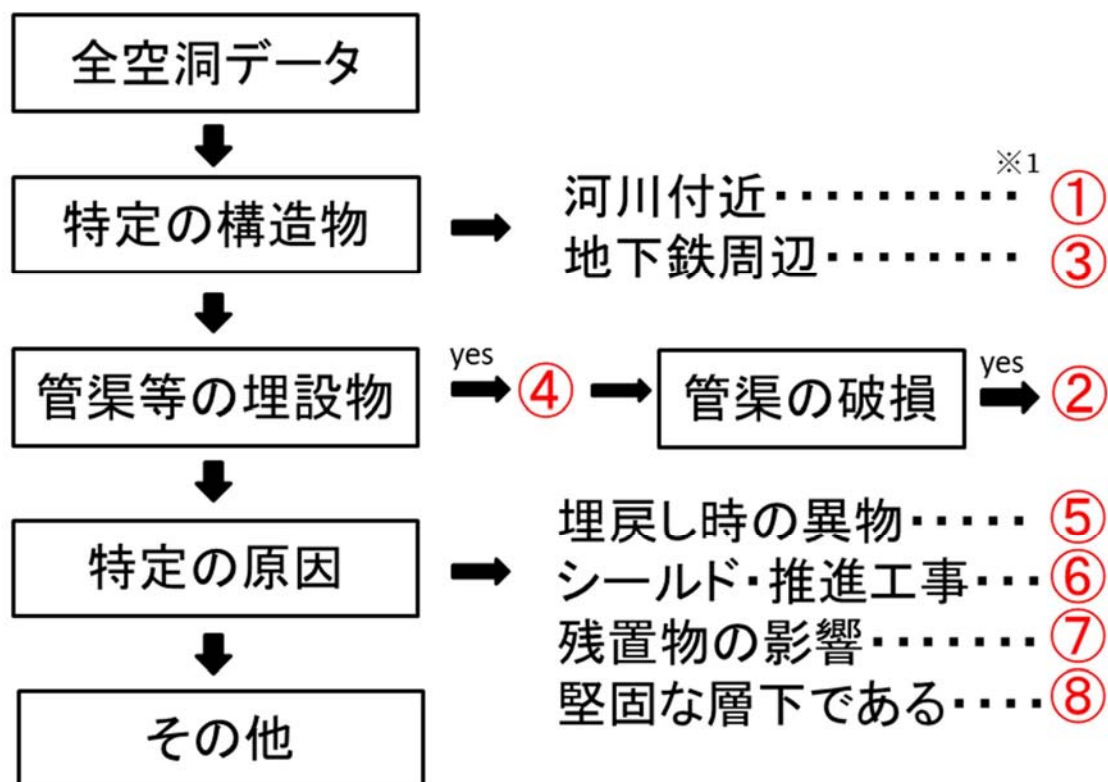


図-6.2.14 空洞発生メカニズムの分類フロー

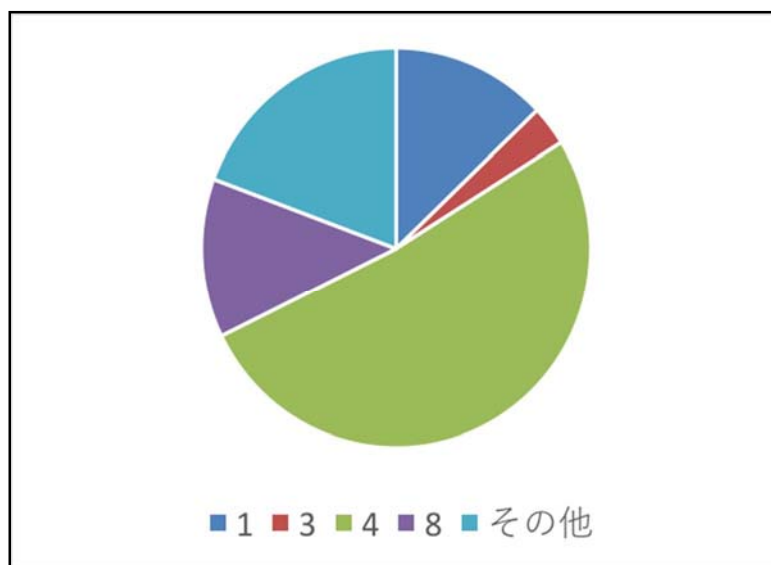
※1 丸番号は以下の分類を示す。

- ①構造物背面土砂の吸出し
- ②地下埋設物破損箇所等からの吸出し
- ③地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響
- ④転圧不足
- ⑤埋戻し材に混入した異物(ガラ・木片など)の影響
- ⑥シールドや推進工事による影響
- ⑦残置物(矢板、死管等)の影響
- ⑧コンクリート版やスラグ路盤下の不等沈下

その他の中には、前節の (b) 転圧不足で挙げた道路端の転圧不足によるものも含まれていたため、その他のうち道路端の転圧不足と判断できる空洞は④転圧不足に改めて分類した。

1) 分析

H24～H28 の空洞データ 31 件を図－6. 2. 14 のフローに従って分類した結果を図－6. 2. 15 に示す。



①構造物背面土砂の吸出し	4
②地下埋設物破損箇所等からの吸出し	0
③地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響	1
④転圧不足	16
⑤埋戻し材に混入した異物(ガラ・木片など)の影響	0
⑥シールドや推進工事による影響	0
⑦残置物(矢板, 死管等)の影響	0
⑧コンクリート版やスラグ路盤下の不等沈下	4
その他	6
全件	31

図－6. 2. 15 空洞発生メカニズムの分類ごとの件数

図－6. 2. 15 からわかるように①構造物背面土砂の吸出しが 4 件、③地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響が 1 件、④転圧不足が 16 件、⑧コンクリート版やスラグ路盤下の不等沈下が 4 件、その他が 6 件であり、②地下埋設物破損箇所等からの吸出し・⑤埋戻し材に混入した異物(ガラ・木片など)の影響・⑥シールドや推進工事による影響・⑦残置物(矢板, 死管等)の影響は 0 件であった。以下では、その他を含め空洞発生メカニズムの異なる 4 種の分析を行う。③地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響は空洞データが 1 件と少ないため省略する表－6. 2. 1 は空洞発生メカニズムごとに深度, 空洞厚さ, 縦断長さ, 横断長さ, 体積を平均したものある。

表-6.2.1 空洞発生メカニズムの分類ごとの件数

		深度(m)	空洞厚さ(m)	縦断長さ(m)	横断長さ(m)	体積(m ³)
※2	①	0.28	0.35	2.7	0.7	0.47
	④	0.40	0.11	5.8	1.2	0.50
	⑧	0.56	0.16	1.2	1.0	0.65
	その他	0.49	0.37	1.4	1.2	0.62
	全平均	0.43	0.20	4.8	1.1	0.59

- ※2 ①構造物背面土砂の吸出し
 ④転圧不足
 ⑧コンクリート版やスラグ路盤下の不当沈下

以下に表-6.2.1 のデータより推測・考察できたことを示す。

<①構造物背面土砂の吸出し>

空洞厚さ平均が 0.35m と全平均 0.20m と比較して大きい傾向が見られた。吸出し系の空洞は急速に拡大する等、成長性が高い傾向があり、整合性を確認できたといえる。

<②転圧不足>

空洞厚さ平均が 0.11m と全平均 0.20m と比較して小さい傾向が見られた。吸出し系より沈下系の空洞は、成長性が低い傾向があり、整合性を確認できたといえる。また、①構造物背面土砂の吸出し・⑧コンクリート版やスラグ路盤下の不等沈下・その他と比較して縦断方向の長さが大きい傾向が見られた。これは特に道路端での転圧不足による空洞が影響しており、4 件のうち 3 件が 10m を超えており、最大のものは 51.7m であった。

また、空洞発生メカニズムの分類フローに従って②地下埋設物破損箇所等からの吸出しに分類されるかを判断するため、管渠の破損箇所を確認した。④転圧不足のうち地下に埋設されていた管渠は具体的にガス管、上水道、下水道、集落排水であった。このうち下水道管渠以外の破損箇所データを有していなかったため、下水道管渠の破損箇所データと空洞データを照合したが、空洞発生箇所周辺では損傷が見られなかった。この理由として、下水道は一般的に 1.2m 付近に埋設されているが、今回調査した空洞は 0.4m 付近と浅層部であったため、直接的な要因にはならなかったのではないかと推測できる。以上のように管渠等の破損状況データが不足していたこともあり、②地下埋設物破損箇所等からの吸出しが発生原因となる空洞を確認できなかった。

<⑧コンクリート版やスラグ路盤下の不等沈下>

④転圧不足と同様に沈下系の空洞であるため、空洞厚さは小さい傾向が見られ、整合性を確認できたといえる。

＜その他 埋立地周辺による影響＞

8種のうちの空洞発生メカニズムには分類されなかったが、空洞厚さ平均が0.37mと最大の大きさであった。その他に分類された空洞は国道174号に集中的に分布しており、周辺が埋立地であるという地質的要因が影響しているのではないかと推測できる。空洞下部もほとんどが砂であった。埋立地では上載荷重の増加により圧密沈下が起こりやすく、また液状化もしやすいという背景があり、このような結果になったと考えられる。

実際に神戸 JIBANKUN を使用し、ボーリング柱状図を確認したところ圧密沈下を引き起こしやすい Ma13(沖積粘土層)が見られた。



図－6.2.16 国道174号周辺の空洞

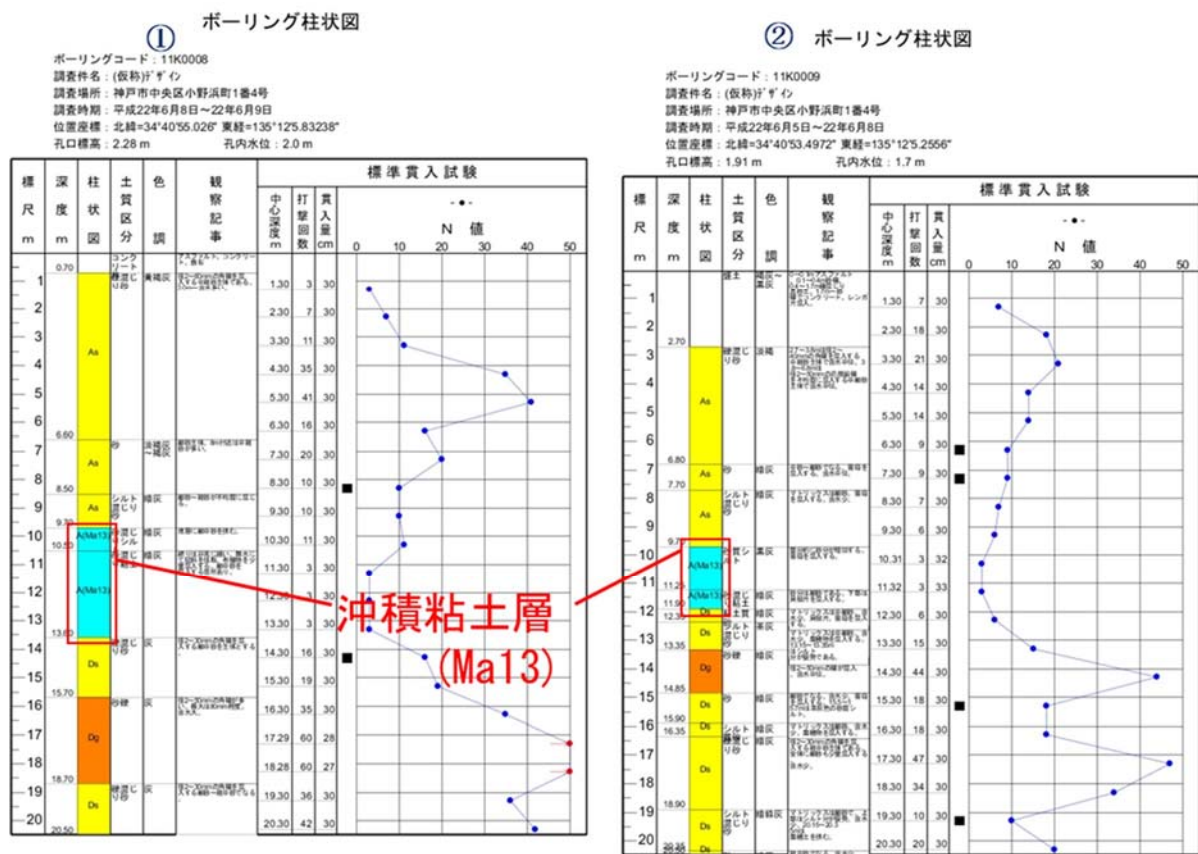


図-6.2.17 ボーリング柱状図（神戸 JIBANKUN）

2) まとめ

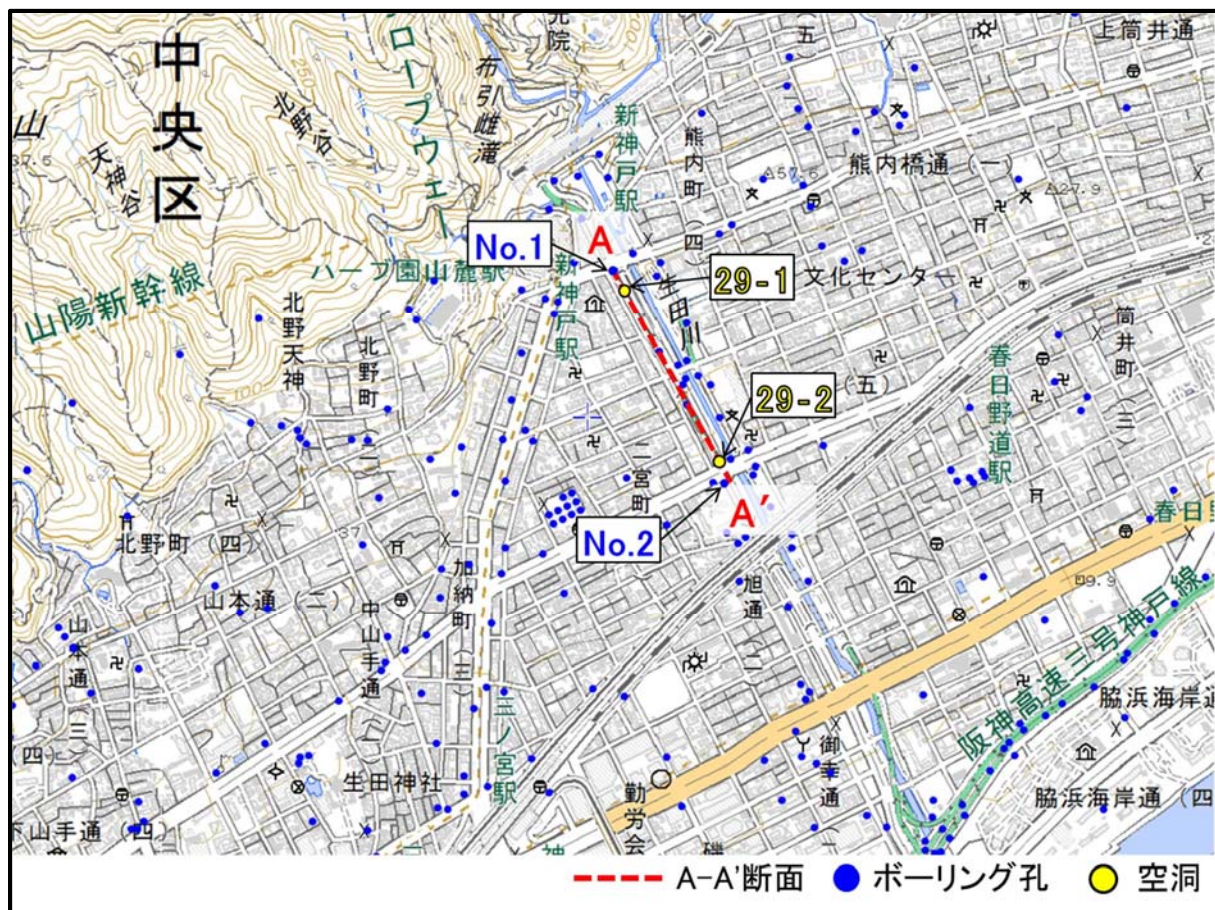
分析の結果、推測的ではあるが H24～H28 の空洞データ 31 件を発生メカニズムごとに分類できた。吸出し系は沈下系と比較しやや空洞が深刻化しやすい傾向が見られた。また、地下埋設物破損箇所のデータが不足しており、特に 0.5m 付近に一般的に埋設されている雨水排水管の破損箇所データを確認していく必要がある。そして、埋立地等の地質的要因も影響しているのではないかと推測でき、各地域の地質特性も考慮すべきであると考えられる。

しかし、分析結果では 31 件の空洞データしか考察できていないため、もう少し件数を増やし精度を高めていく必要がある。

6.3 空洞発生箇所における地下水位の状況

「平成 26 年度 路面下空洞調査業務」のスコープ調査により空洞として判断された 2 箇所の空洞発生箇所（空洞 29-1，空洞 29-2）を対象とし，地下水による空洞への影響の有無を把握するために，空洞発生箇所から最も近い「神戸 JIBANKUN」のボーリング調査データを用いて空洞発生箇所付近の地下水位状況を確認した。

図－6.3.1 に空洞発生箇所（29-1，29-2）およびボーリング孔（No.1，No.2）の位置を示す。



図－6.3.1 空洞発生箇所（29-1，29-2）およびボーリング孔（No.1，No.2）の位置図

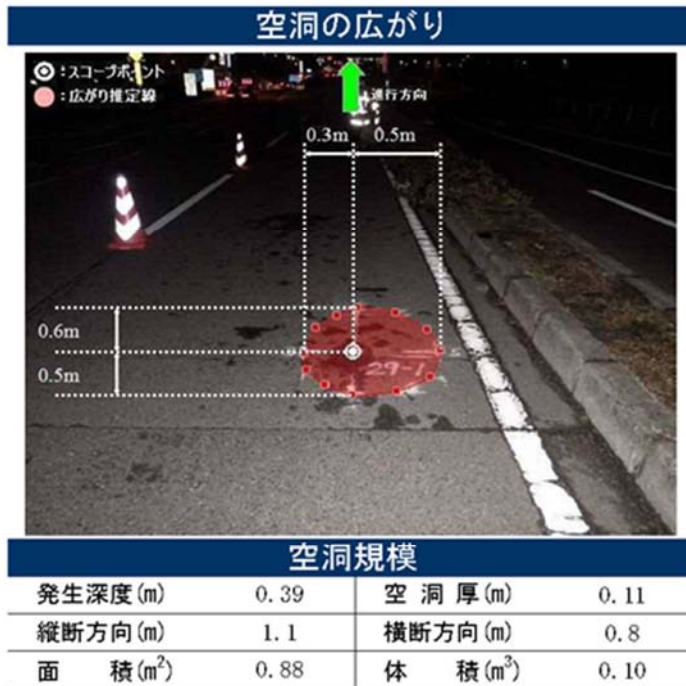
空洞発生箇所である空洞 29-1 と空洞 29-2 のスコープ調査結果（図－6.3.2）から分かるように，空洞 29-1 の発生深度は 0.39m，空洞厚さは 0.11m であり，空洞 29-2 の場合も発生深度は 0.34m，空洞厚さは 0.05m と浅層部に空洞が形成されている。

一方，A-A'断面図（図－6.3.3）とボーリング柱状図（No.1，No.2）（図－6.3.4）から地下水位の状況を確認した結果，空洞 29-1 と空洞 29-2 付近の地下水位は，それぞれ GL-12.5m と GL-13.8m である。

これらのデータから地表面から GL-10m 以上の深いところに形成されている地下水位が浅層部の空洞に影響を与えたかどうかを判断することは難しい。

今後の課題として，空洞発生箇所を対象とし，地盤・水理特性および地下構造物などを考慮した広域地下水流動解析を行い，地下水による空洞への影響を把握する必要がある。

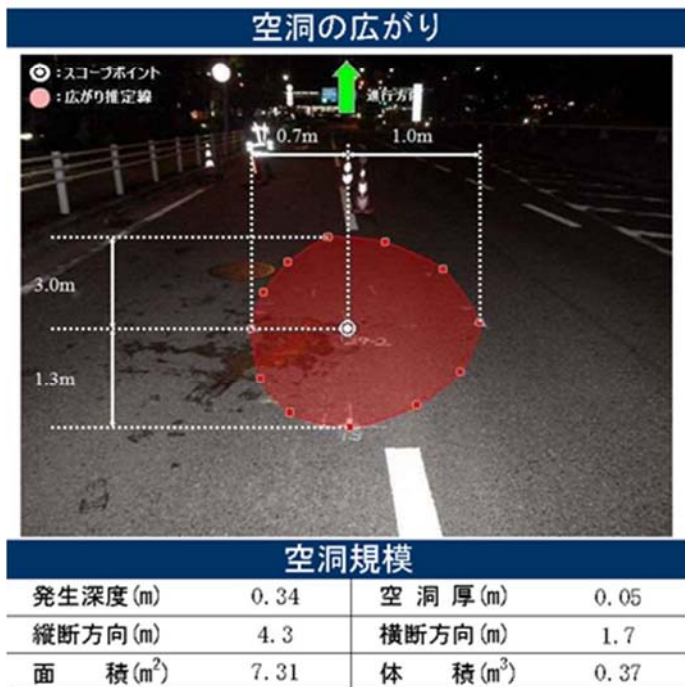
空洞(29-1)



ドールスコープ撮影記録

ドールスコープ撮影記録		
撮影深度(0.00~0.50[m])	構成/層厚(m)	深 度(m)
10	アスコン 0.20	0.20
20	スラブ 0.07	
30	砕石 0.12	0.27
40	空洞 0.11	0.39
50		0.50
砕石		

空洞(29-2)



ドールスコープ撮影記録

ドールスコープ撮影記録		
撮影深度(0.00~0.40[m])	構成/層厚(m)	深 度(m)
10	アスコン 0.13	0.13
20	スラブ 0.21	
30	空洞 0.05	0.34
40		0.39
砂		

図-6.3.2 空洞発生箇所(29-1, 29-2)のスコープ調査結果

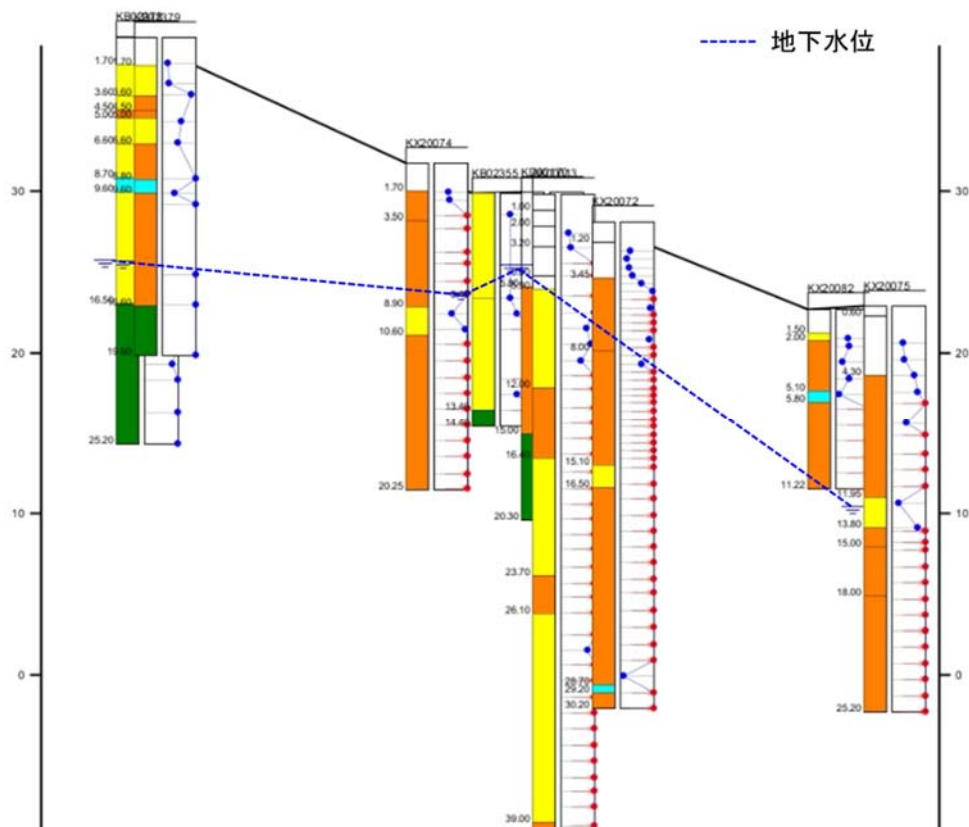


図-6.3.3 A-A' 断面図

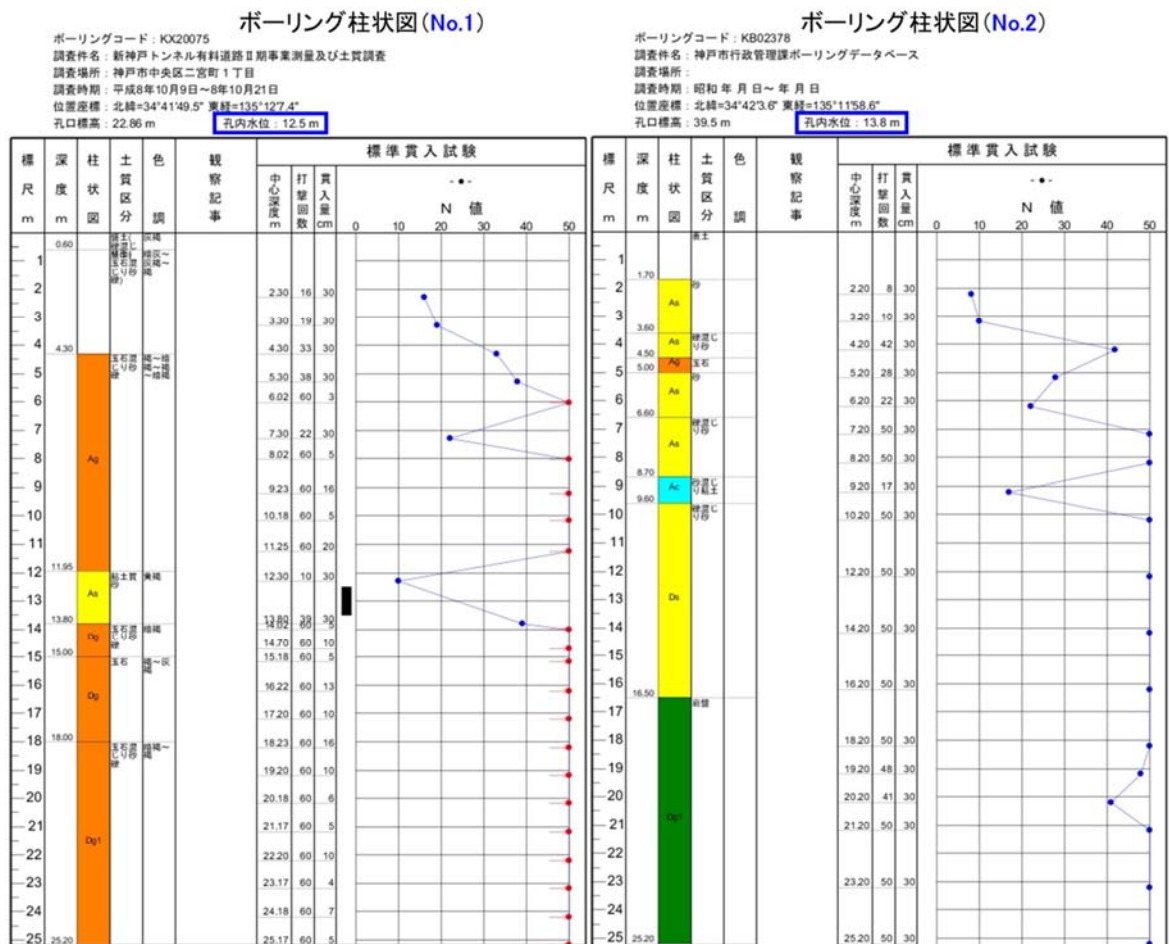


図-6.3.4 ボーリング柱状図 (No. 1, No. 2)

6.4 交通量および人口数による空洞発生箇所の傾向分析

前節（6-2）でも述べた通り、交通活荷重の影響による振動によって、異なる路盤材料の境界面で空洞が発生する可能性もあるため、交通量による空洞発生箇所の傾向を把握する必要がある。

そこで、神戸市に所在している3つの区（長田区、兵庫区、中央区）における25箇所の路線を対象とし、国土交通省道路局で平成27年度に実施した「全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 箇所別基本表」の内、24時間自動車類交通量（小型車+大型車）のデータを用いて、空洞位置と ArcGIS 上に重ね合わせることで傾向分析を実施した。

ここで、空洞位置のデータは、H8～H28 まで実施した空洞調査結果の内、スコープ調査により「空洞」と判断されたデータ（219 件）に、レーダー探査装置により「空洞の可能性有り」と判断されたデータ（547 件：スコープ調査未実施）を加えたデータである。

一方、空洞位置における人口数を把握することも重要であるため、「国土数値情報の GIS ホームページ」※から入手した「500m メッシュ別 2010 年人口数（総務省統計局）」のデータを追加で ArcGIS 上にインプットし、その傾向を分析した。その結果を図-6.4.1 に示す。

図-6.4.1 から分かるように 25 箇所の路線の中で、24 時間の交通量が 5,181～10,000 台の路線は 4 箇所、10,001～20,000 台の路線は 12 箇所、20,001～30,000 台の路線は 6 箇所、30,001～40,000 台の路線は 2 箇所、40,001 台以上の路線は 1 箇所となっている。その内、10,000 台以上の路線がほとんどで、20,000 台以上の路線は中央区と兵庫区を中心に分布しており、交通量が高い一部の路線では、空洞が集中している傾向もあるが、交通量が高くなるほど、空洞が多くなる明確な傾向は見られなかった。

しかし、人口数と併せて定性的に分析してみると、山岳部などの人口密度が低い地域より、人口密度が高い市内部において、交通量が 10,000 台以上の地域に空洞が多い傾向が確認できた。

もちろん、交通量のデータがない路線もあり、実際にスコープ調査が行われていない「空洞の可能性有り」のデータも図-6.4.1 に含まれていることから、今後、神戸市全地域を対象とした路線別交通量のデータと人口数データを ArcGIS に加えて精査して行く必要がある。

※「国土数値情報」とは、国土形成計画、国土利用計画の策定等の国土政策の推進に資するために、地形、土地利用、公共施設などの国土に関する基礎的な情報を GIS データとして整備したものである。

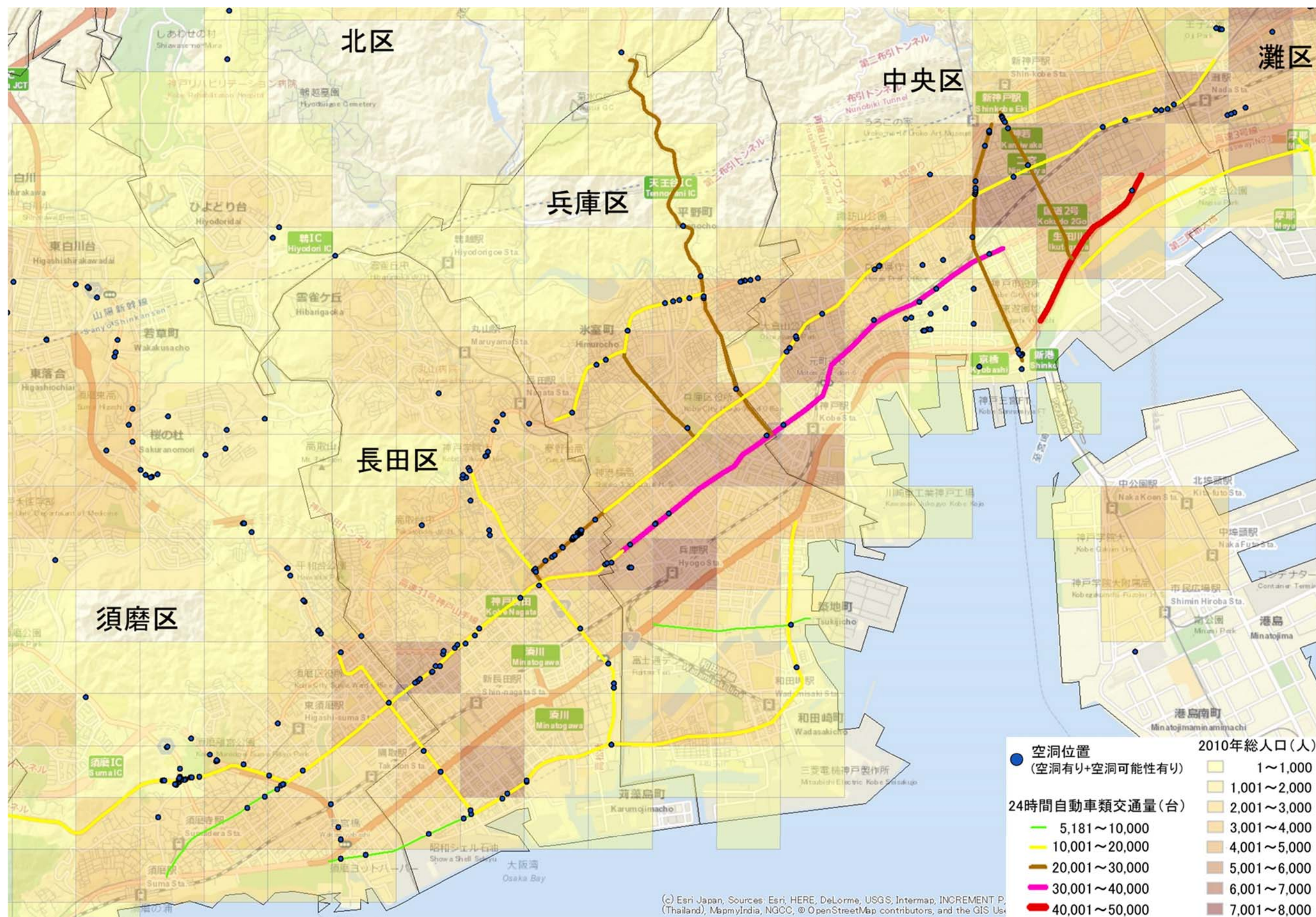


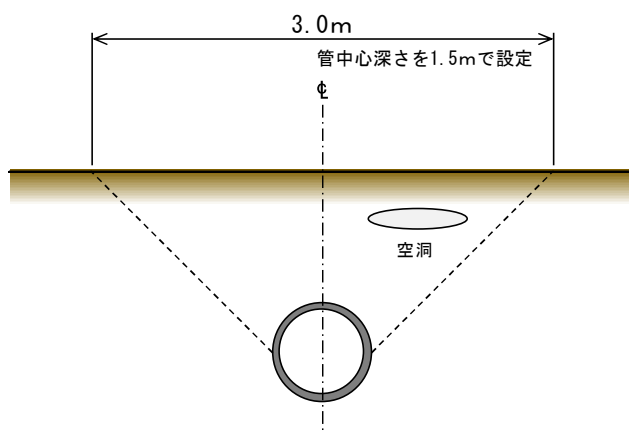
図-6.4.1 交通量，総人口，空洞位置を ArcGIS 上に重ね合わせた分布図

6.5 汚水管による空洞発生箇所の傾向分析

神戸市においては、公共下水道管路施設の台帳システムがあり、管路施設の諸元及び管内調査結果等を蓄積している。台帳システムデータの内、特に汚水管路施設については、管内調査結果が多く蓄積されているため、汚水管渠の異常による空洞発生箇所の傾向を把握する必要がある。

そこで、神戸市に所在する3つの区（長田区、兵庫区、中央区）におけるスコープ調査により空洞と判明された空洞箇所（84箇所）及び地中レーダー探査から空洞の可能性ありと判断された箇所（96箇所）の全180箇所の空洞位置を対象とし、神戸市公共下水道管路施設台帳システムのデータを用いて、空洞位置と下水道管路（汚水管渠）をArcGIS上に重ね合わせることで傾向分析を実施した。

ここで、下水道管路（汚水管渠）が起因する可能性のある空洞位置は、図－6.5.1に示すように汚水管渠法線を中心に幅1.5mの範囲（全幅3.0m）に存在する空洞位置を抽出した。

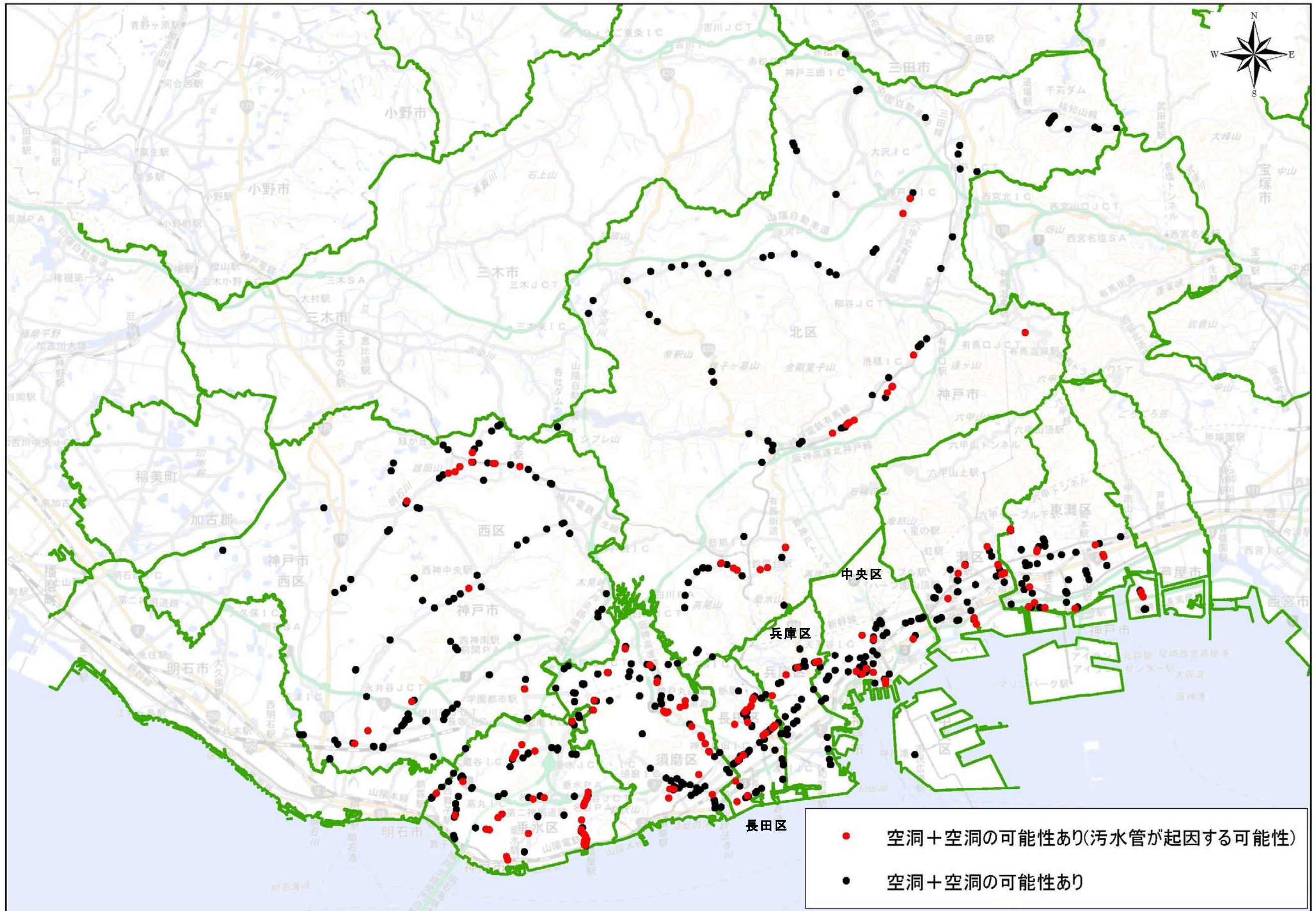


図－6.5.1 汚水管渠が起因する可能性のある空洞位置抽出イメージ図

抽出された空洞位置は、図－6.5.2に示すとおりであり、空洞箇所数を整理すると表－6.5.1のようになり、空洞箇所は17%（14箇所/全84箇所）、空洞の可能性のある箇所は28%（27箇所/全96箇所）、トータルで22%（41箇所/全180箇所）である。概ね、空洞及び空洞の可能性のある箇所の1/4は、下水道管路（汚水管渠）が起因する可能性がある。

表－6.5.1 汚水管渠が起因する可能性のある空洞箇所抽出結果一覧表

空洞深度（m）		0～0.5	0.5～1.0	1.0～1.5	計
空洞調査結果	空洞	47	37	0	84
	空洞の可能性あり	42	52	2	96
	計（ Σa ）	89	89	2	180
汚水管渠抽出結果	空洞	9	5	0	14
	空洞の可能性あり	11	15	1	27
	計（ Σb ）	20	20	1	41
割合 $\Sigma b / \Sigma a$	空洞	0.19	0.14	—	0.17
	空洞の可能性あり	0.26	0.29	0.50	0.28
	計	0.22	0.22	0.50	0.23



図－6.5.2 污水管渠が起因する可能性のある空洞箇所抽出図

次に、空洞の発生に起因する可能性がある下水道管路（污水管渠）に着目して分析を行う。

公共下水道管路施設の台帳システムデータは、管渠番号（人孔から人孔＝スパン）で管理されているため、空洞の発生に起因する可能性がある污水管渠は、スパン単位で抽出される。

表－6.5.1 に示す空洞及び空洞の可能性がある41箇所に対し、污水管渠は39スパン抽出された。

この污水管渠を管種別に整理すると表－6.5.2 のようになり、鉄筋コンクリート管が90%（35スパン/全39スパン）、硬質塩化ビニール管が10%（4スパン/全39スパン）である。

表－6.5.2 污水管渠の管種別抽出スパン整理表

管 種	スパン数	割合
鉄筋コンクリート管	35	0.90
硬質塩化ビニール管	4	0.10
計	39	

抽出された39スパンの污水管渠で管内カメラ調査を実施しているスパンは、28スパンあり約7割が管渠内の異常を確認している。神戸市における管内カメラ調査判定基準を表－6.5.3に示す。

表－6.5.3 神戸市における管内カメラ調査判定基準

事 項	ランク	記号	A			B			C		
			A			B			C		
木 管 調 査	破 損	E	管材の破壊有り 管きよ更生不適(要開削)			管材の欠損有り 管きよ更生可能			マンホール内より補修 可能な管口補修		
	継手部鉛直ズレ	G	3cm以上			1cm～3cm未満			1cm未満		
	継手部目地開き	B	3cm以上			1cm～3cm未満			1cm未満		
	クラック(鉛直)	V	半円周以上			半円周以下			ヘアクラック		
	クラック(水平)	II	管長の1/2以上			管長の1/2未満			ヘアクラック		
	た る み	L	管径の1/2以上			管径の1/2以下			管径の1/5未満		
	蛇 行	M	管径の1/2以上			管径の1/2以下			管径の1/5未満		
	腐 食	F	全体に骨材の露出 (鉄筋が30cm以上 露出している)			一部に骨材の露出 (一部のみ鉄筋・骨材 が露出している)			変色している (1スパン全体で変色し ていればFBで計上)		
	木 根 侵 入	R	侵入根が流下を 阻害しているもの			侵入根有り			――		
	浸 入 水	D	吹き出ている			流れている			にじんでいる		
	パッキン異常	P	露出したゴム輪が 流下を阻害するもの			ゴム輪の露出有り			――		
	モルタル堆積	Q	管径の20%以上			管径の20%以下			――		
	取付管突出	SK	本管内に3cm以上			本管内に3cm以下			――		
	取付管破損	SE	管材断面に変形有り			管材断面に欠損有り			――		
	取付管ズレ	SG	3cm以上			1cm～3cm未満			1cm未満		
査	取付管パッキン異常	SP	露出したゴム輪が 流下を阻害するもの			ゴム輪の露出有り			――		
	取付管内木根侵入	SR	侵入根が流下を 阻害しているもの			侵入根有り			――		
	取付管内浸入水	SD	吹き出ている			流れている			にじんでいる		
	取付管内の その他の異常	SS	緊急対応が必要			計画的対応が必要			――		

空洞発生に起因すると考えられる異常は、管内に管周辺の土砂を引き込む可能性のある異常と考えると、表－6.5.3の赤枠で囲んでいる以下の異常である。

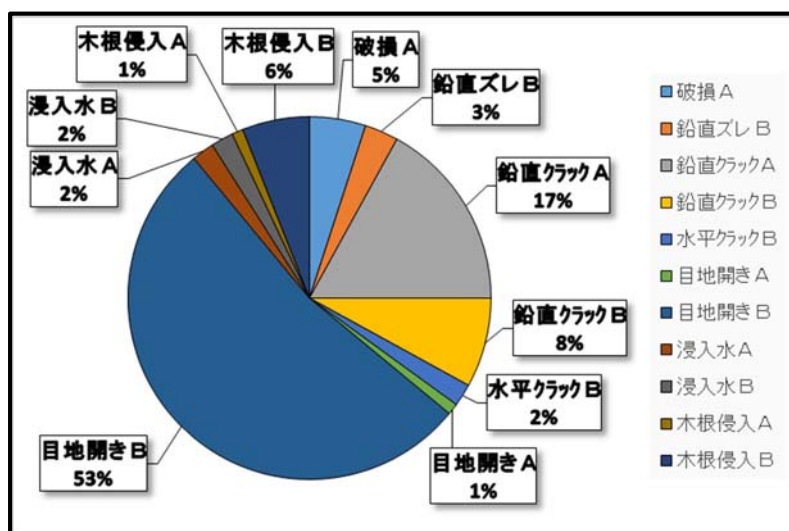
- 破損 A
- 継手部鉛直ズレ A・B
- 継手部目地開き A・B
- クラック（鉛直） A・B
- クラック（水平） A・B
- 木根侵入 A・B
- 浸入水 A・B
- 取付管異常：破損A、ズレA・B、木根侵入A・B、浸入水A・B

上記の異常箇所数を管種別・異常種別に整理したものを表－6.5.4に示し、各異常の割合を図－6.5.3に示す。その結果、空洞発生に起因すると考えられる異常は、継手部目地開きが54%（54箇所/全100箇所）を占めている。

表－6.5.4 異常箇所数の管種別・異常種別集計表

管 種	破損	鉛直ズレ		鉛直クラック		水平クラック		目地開き		浸入水		木根侵入		取付管異常		計
	A	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
鉄筋コンクリート管	5	0	3	17	8	0	2	1	53	2	2	1	6	0	0	100
硬質塩化ビニール管	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	5	0	3	17	8	0	2	1	53	2	2	1	6	0	0	100
全異常に対する割合	0.05	0.00	0.03	0.17	0.08	0.00	0.02	0.01	0.53	0.02	0.02	0.01	0.06	0.00	0.00	

※取付管異常：破損、ズレ、木根侵入、浸入水



図－6.5.3 各異常の割合

以上より、空洞及び空洞の可能性のある箇所は、概ね 1/4 で下水道管路（污水管渠）が起因している可能性がある。さらに空洞発生は、下水道管路（污水管渠）の管種が鉄筋コンクリート管で、継手部目地開きの異常が関係していると考えられる。しかし今回検討は、下水道管路1 スパン（約 30m）と空洞箇所との重ね合わせ図であり、具体的な異状箇所との確認はデータが不足しているため実施できていない。今後、具体的な異状箇所位置データを ArcGIS に加えて精査して行く必要がある。

6.6 分析結果および考察

従来のように道路陥没事故が発生した後に、事後的に対症療法的な復旧する方法では、非常に危険であり、また復旧に多大な予算と時間を必要とする。未然に道路陥没を防止するためには、定期的に空洞探査を実施し、そして非常に多種かつ複雑な空洞発生要因を考慮した上での危険個所の把握が不可欠である。

6.1 節では、神戸市の空洞データから判断できた特質を整理した。具体的に、浅層部では深度 0.4～0.6m に空洞が集中していること、砂・まさ土・砕石よりも砂混じり砕石・スラグのような細粒分と粗粒分が適切に混合される地盤材の場合、締固めしやすく浸食されにくいため空洞の厚みが小さくなること等が確認できた。

6.2 節では、空洞を「吸出し系」・「沈下系」に分類し、その事例を分析することで空洞発生メカニズムごとに生成される空洞の特徴が比較的類似するということが確認できた。具体的に、「吸出し系」の平均空洞厚さは 0.35m であり、最大厚さは 0.62m と非常に大きく、「沈下系」と比較して空洞厚さが非常に大きい傾向にあった。また、「沈下系」の平均空洞厚さは 0.12m と非常に小さかった。一方、「沈下系」のうち、道路端部での転圧不足が原因となる空洞の平均縦断方向の長さは 20.9m であり、中には縦断方向の長さが 51.7m の空洞(異常箇所 No.西部-8-7 : H27)がある等、「吸出し系」と比較して縦断方向の長さが大きい傾向にあった。以上のように「吸出し系」・「沈下系」の空洞発生メカニズムの違いによって、発生する空洞に異なる傾向が見られることを確認した。また、その他として「吸出し系」・「沈下系」のどちらにも分類されなかったが、平均空洞厚みが 0.37m と大きい空洞が数件見られた。これらの空洞は国道 174 号線に集中的に分布しており、周辺が埋立地であるという地質的要因が影響しているのではないかと推測できた。これは、埋立地では上載荷重の増加により圧密沈下が起こりやすく、液状化しやすいという背景とも合致する。以上のように埋立地のような地形的要因に関しても、各地域の地形特性ごとに考慮していくべきではないかと考える。

6.3 節では、2 箇所の空洞発生箇所を対象とし、地下水による空洞への影響の有無を把握するため、「神戸 JIBANKUN」のボーリング調査データを用いて空洞発生箇所付近の地下水位状況を確認した。その結果、地表面から GL-10m 以上の深いところに形成されている地下水位が浅層部（空洞発生深度 0.39m, 0.34m）の空洞に影響を与えたかどうかを判断することは困難であった。今後、空洞発生箇所を対象とし、地盤・水理特性および地下構造物などを考慮した広域地下水流動解析を行い、地下水による空洞への影響を把握する必要がある。

6.4 節では、交通量および人口数による空洞発生箇所への傾向を把握するため、25 箇所の路線を対象とし、24 時間自動車類交通量のデータおよび 500m メッシュ別 2010 年人口数のデータを用いて、空洞位置と ArcGIS 上に重ね合わせることで傾向分析を実施した。その結果、交通量が高い一部の路線では、空洞が集中している傾向もあるが、交通量が高くなるほど、空洞が多くなる明確な傾向は見られなかった。しかし、人口数と併せて定性的に分析してみると、山岳部などの人口密度が低い地域より、人口密度が高い市内部において、交通量が 10,000 台以上の地域に空洞が多い傾向が確認できた。今後、神戸市全地域を対象とした路線別交通量のデータと人口数データを ArcGIS に加えて精査して行く必要がある。

6.5 節では、長田区、兵庫区、中央区における空洞箇所（84 箇所）及び空洞の可能性のある箇所（96 箇所）の全 180 箇所の空洞位置を対象とし、神戸市公共下水道管路施設台帳システムのデータを用いて、空洞位置と下水道管路を ArcGIS 上に重ね合わせることで傾向を分析した。その結果、その結果、空洞および空洞の可能性のある箇所は、概ね 1/4 が継手部目地開きの異状がある鉄筋コンクリート管の下水管路に起因している可能性があるが、今回検討は、下水管路 1 スパン（約 30m）と空洞箇所との重ね合わせ図であり、具体的な異状箇所との確認はデータが不足しているため実施できていない。今後、具体的な異状箇所位置データを ArcGIS に加えて精査して行く必要がある。

7. 今後の課題

今後の課題として、もう少し分析する件数を増やすこと、雨水管・地盤データ・交通量等さらなるデータを「ArcGIS」上に加えること等を通して、空洞発達箇所の把握・推定の精度をより高めていく必要がある。様々な空洞発生要因のデータと空洞調査結果を組み合わせることは、空洞発達箇所の推定に有意義であるが、量が膨大すぎるため、調査域全体で分析するのは困難である。そのため、ある程度の大きさの地域メッシュに区切り、特徴の異なる小区域で考察を行い、その後特徴の似た地域に適用していくことが効率的であると考えられ、具体的に図-7.1.1のように地域メッシュを作成し図-7.1.2のように個々に考察を行っていく。

一方、地下水による空洞への影響の有無を把握するためには、空洞発生箇所を対象とし、地盤特性・水理特性および地下構造物などを考慮した広域地下水流動解析を行う必要がある。例えば、同じ市内でも地盤特性・水理特性・地形・常時の地下水位・地下構造物・河川の有無等によって、降雨時の地下水位の消散速度が遅い場所と早い場所がある。地下水位の消散速度の傾向に着目すると、降雨時のみならず、上下水道管渠から水漏れが発生した場合、地下水位が上昇しやすい場所や地下水位の消散速度が遅い場所などを把握することができ、空洞発生箇所との相関関係を調べることができる。

しかし、神戸市全地域に対して広域地下水流動解析を行う場合、地盤モデルの層準の推定に膨大な時間を要するだけでなく精度が高い良好な結果を得られないため、解析結果の精度向上には、解析対象領域を分割して解析を行うことが望ましい。

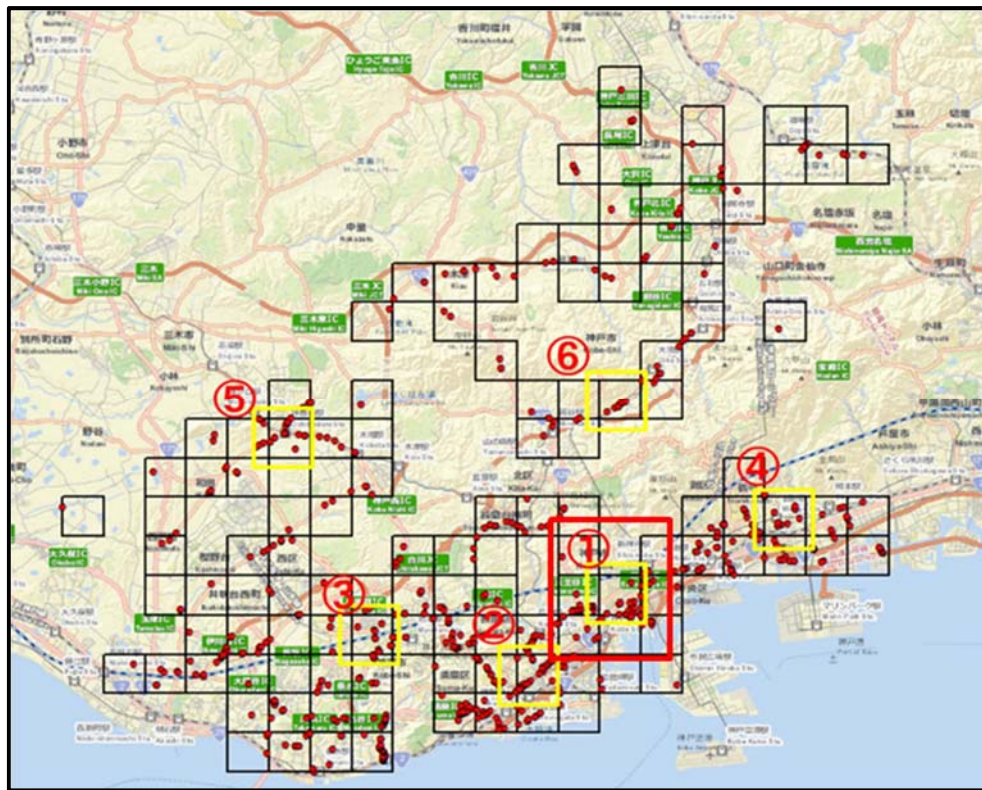


図-7.1.1 地域メッシュ(1メッシュ：縦横2km)



図-7.1.2 図-7.1.1の①区域の空洞・下水管データ