

大深度地下使用法を適用した送水幹線の整備

－ 神戸市大容量送水管整備事業 －

CONSTRUCTION OF THE TRANSMISSION MAIN IS SUBJECT TO SPECIAL MEASURES ACT FOR PUBLIC USE OF DEEP UNDERGROUND SPACE

－ LARGE-CAPACITY TRANSMISSION MAIN IN KOBE CITY －

浜村 吉昭¹・永里 忠裕²・竹内 重隆³

Yoshiaki HAMAMURA・Tadahiro NAGASATO・Shigetaka TAKEUCHI

The 1995 Hanshin-Awaji Earthquake caused unprecedented damage. The water supply facilities of Kobe City did not escape tremendous damage, those restoration took up to 10 weeks. In July 1995, Kobe City formulated the Kobe City Basic Plan for Earthquake-Resistant Water Supply Facilities in light of the lessons learned from the disaster.

As one of the strategies in the Plan, the Large-Capacity Transmission Main is being developed as the seismic water supply pipe to cut through urban areas and spread a risk of existing two mountainous transmission tunnels.

In the current fiscal year, the construction of Okuhirano Section, the final work section of this project, is due to be started; involves the shield tunneling of 2.4km between Nunobiki and Okuhirano shafts. Part of this work section is subject to the first application of the Special Measures Act for Public Use of Deep Underground Space (2001), which makes it possible to shorten and optimize the route and reduce the construction cost by tunneling under private lands without any advance reparation.

This paper reports on the procedure for application of the Act and on the points of examination.

Key Words: Special Measures Act for Public Use of Deep Underground Space, Large-Capacity Transmission Main, shield tunnel, earthquake-resistant, reduce the construction cost

1. はじめに

神戸の水道は，明治33年(1900年)に全国で7番目の近代水道として給水を開始した。神戸市は水源となる大きな川や湖に恵まれていないため，布引・烏原・千苅に貯水池(ダム)を建設して水を確保してきたが，市域の拡大や人口の増加に伴い水源が不足したため，昭和17年(1942年)より琵琶湖・淀川水系を水源とする阪神水道企業団から水を購入している。現在，神戸市の水源の約4分の3は阪神水道企業団からの受水に頼っており，図-1に示すとおり，六甲山麓を東西に通る2本の送水トンネルを使用し，既成市街地を經由して西区及び垂水区まで送水している。

キーワード：大深度地下使用法，大容量送水管，シールドトンネル，耐震性，コスト縮減

¹正会員 神戸市 水道局 技術部 計画課 主幹

²非会員 神戸市 水道局 技術部 計画課

³非会員 神戸市 水道局 技術部 計画課

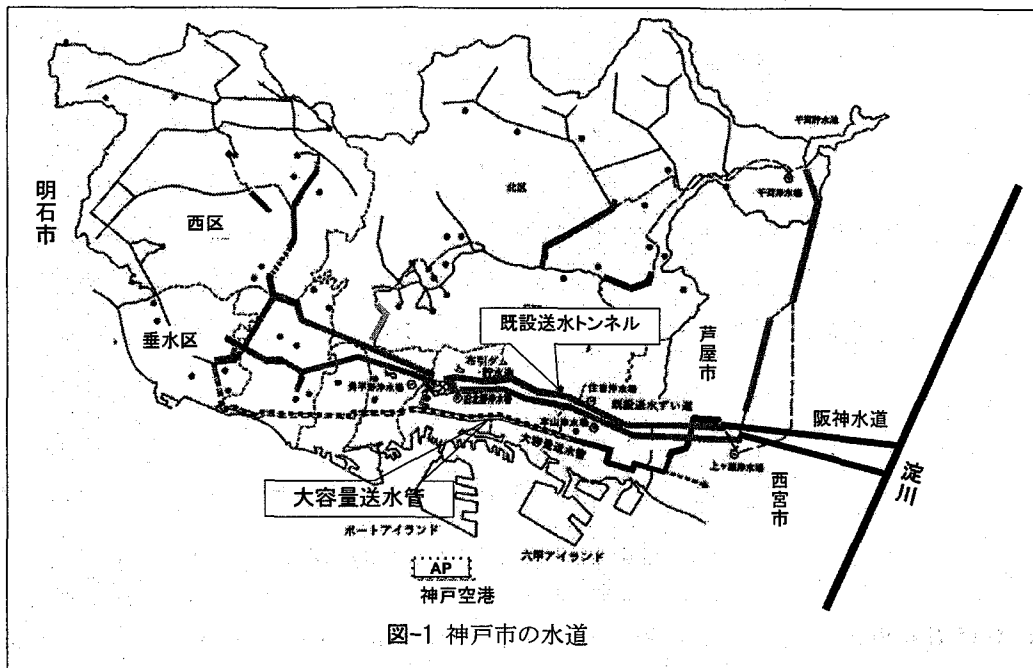


図-1 神戸市の水道

平成7年(1995年)1月の阪神・淡路大震災において、神戸市の水道施設は大きな被害を受けた。飲み水や消火用水が供給できなくなり、復旧までに最長10週間を要した。その震災の反省と教訓を踏まえ、平成7年(1995年)7月、「災害に強く、早期復旧が可能な水道づくり」を目指して「神戸市水道施設耐震化基本計画」を策定し、図-2に示す緊急貯留システムの整備や配水管の耐震化などの事業を総合的に進めてきた。

大容量送水管整備事業は、この基本計画における主要施策の一つであり、既存の2本の送水トンネル(山岳トンネル)との危険分散を考慮して、新たに市街地の地下深くを通る耐震性の高い送水幹線を整備するものである。事業計画区間の西端に位置する奥平野工区(2.4km)のうち、約270mの区間について、平成13年4月に施行された「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」(以下、「法」という。)を適用して計画することにより、直線的なルート設定が可能となり、工期の短縮、事業費の縮減に加え、施工性の向上を図ることができた。

本論文は、全国初の法適用事例として、使用認可の手続き、審査のポイント等について報告する。

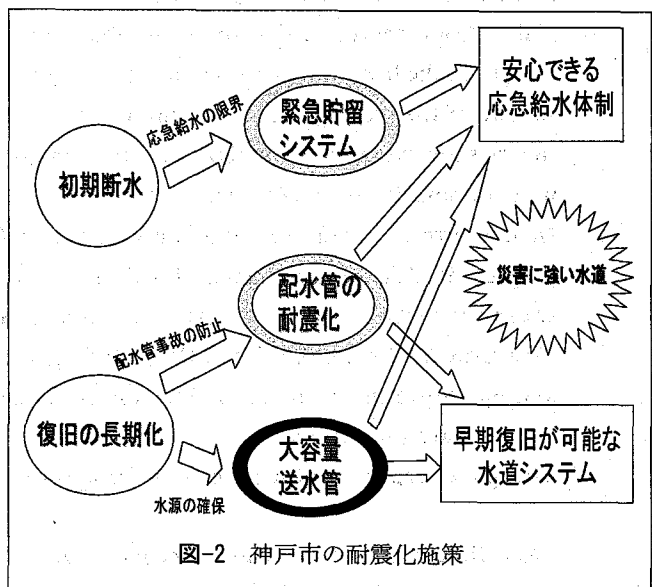


図-2 神戸市の耐震化施策

2. 大容量送水管整備事業

(1) 全体計画

図-3に大容量送水管のルートを示す。西宮市の芦部谷接合井を起点とし、芦屋市と神戸市の市境までの7.3km区間を「神戸送水路」として阪神水道企業団が整備し、市境から第Ⅰ期計画の終点である神戸市奥平野浄水場までの12.8km区間を「大容量送水管」として神戸市が整備する。

市境から住吉川立坑までの約3.8km区間については、平成8年度に厚生労働省のモデル事業として事業着手し、平成14年度末に完成、既に供用を開始している。引き続き、平成15年度からは厚生労働省の国庫補助事業として住吉川立坑から奥平野浄水場までの約9.0km区間の事業を進めており、現在、住吉川立坑から布引立坑までの約6.6km区間を3つの工区に分割して工事を実施している。

a) バックアップ機能

既設の送水トンネル（山岳トンネル）は、建設後 40 年～50 年が経過しているが、市内の水需要をまかなうためこれまで送水停止を伴う点検、更生ができていない。大容量送水管が完成し、既設送水トンネルから送水を切り替えることにより、既設トンネルの調査、更生工事が可能となる。

また、災害や事故等により既設の送水トンネルが被災した場合でも、耐震性に優れた大容量送水管で市内の配水池への送水が可能であり、市街地における給水の安定性は飛躍的に高まる。

b) 応急給水機能

万一、淀川水系からの送水が停止した場合においても、大容量送水管内に貯留している水を利用して、市街地の防災拠点における応急給水機能を有する。図-5 に示すとおり、シールド工事に必要となる立坑を応急給水拠点として整備し、災害時には仮設の給水設備により応急給水を行うことができる。送水管全体で 59,000 m³ の貯留能力があり、沿線の住民の約 10 日分の応急給水が可能となる。

c) 災害時の復旧期間の短縮

配水池や幹線配水管路が被災した場合でも、大容量送水管から直接市内の配水管網に送水することにより、復旧期間の短縮を図る。同時に進めている 500m 及び 200m メッシュ管路および防災拠点に至る幹線配水管の耐震化や、これらを含めた配水管網の再構築を推進し、災害時の復旧により一層効果を発揮できる。

(3) 奥平野工区の特徴

第 1 期計画の最終区間である「奥平野工区」は、布引立坑から奥平野浄水場までの延長 2.4km 区間をシールド工法で施工し、既設の送水トンネルに接続する計画である。

本工区の平面線形を図-6 に示す。立坑間の道路が直線的に連続していないため、法を適用して一部民地の地下を通過する計画とし、工事延長の短縮を図った。また、縦断線形は市営地下鉄神戸山手線や新神戸トンネル（道路トンネル）を下越しする必要から、土被り 40～50m の大深度のルートを決めた。

そのため、地下水圧が大きく、また活断層に近接し、かつ横断するため、40m 以深の大深度部での対策が必要であり難易度の高い工事区間である。これらの安全対策については、大深度地下の使用認可に際しての重要な審査のポイントとなった。

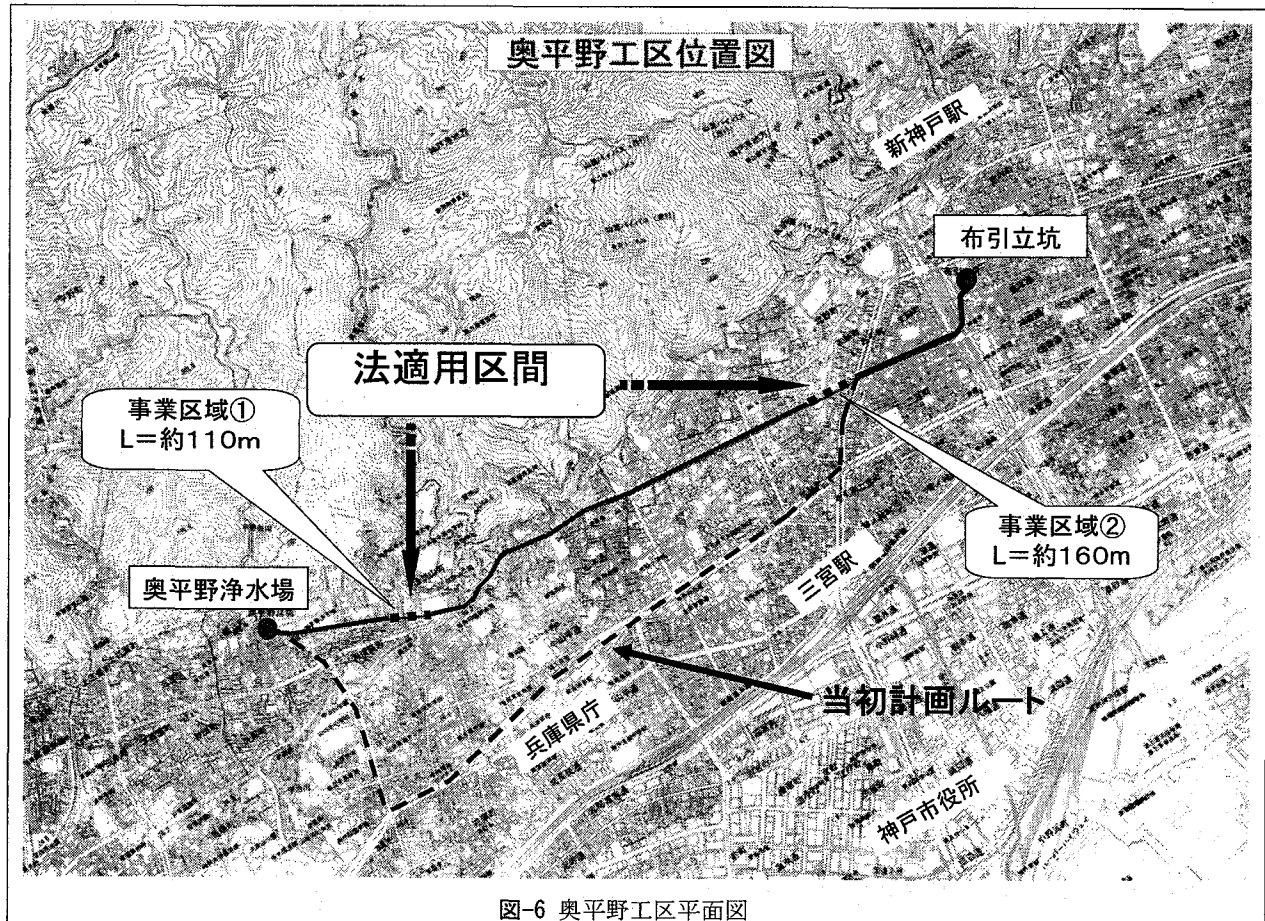


図-6 奥平野工区平面図

3. 大深度地下使用法の適用

(1) 法制度の概要

法は、通常使用されることのない「大深度地下」において、公共的な目的のために、原則として事前の補償を行うことなく私有地を使用できる特別の手続きを定めたものである。

この法律において、大深度地下とは、図-7 に示すとおり建築物の地下室の用に通常供されることがない深さとして地上から 40m、または、通常の建築物の基礎杭を支持することができる地盤（支持層）の上面から 10mを加えた深さのうち、いずれか深い方以深の空間と定義される。

また、法の対象地域及び対象事業は、人口の集中度、土地利用の状況等を勘案して、三大都市圏（首都圏、中部圏、近畿圏）における道路、河川、鉄道、通信、上下水道等公共性が高い事業に限られている。

また、大深度地下の適正かつ計画的な利用を確保するために、国の役割として大深度地下使用基本方針の策定や大深度地下使用協議会の設置のほか、事前の事業間調整といった仕組みが設けられている。

(2) 使用認可の手続き

奥平野工区の事例における使用認可までの手続きの流れを図-8 に示す。平成 18 年 8 月、大深度地下使用の認可権者となる兵庫県知事に対し、事業間調整を目的に事業概要書を提出し縦覧の手続きを行ったが、調整すべき案件や共同事業の申し入れは無かった。

その後、事前審査等の手続きを経て平成 19 年 3 月、正式に認可申請書を提出。申請書の縦覧を行ったが意見書等の提出が無かったため、法に定められた説明会や公聴会の開催等の手続きを求められることなく、6 月 19 日に全国初となる使用認可を得た。

(3) 法適用の効果

大深度地下利用にあたっては、以下のメリットが挙げられている。

- ①原則、事前に補償を行うことなく使用权が設定できるため、事業がより円滑に実施される。
- ②合理的なルート設定が可能となり、事業期間の短縮やコスト縮減につながる。
- ③対象事業を公共性の高い事業に限定することにより、早い者勝ちや虫食いの利用による大深度地下の無秩序な開発を防止する。
- ④地表や浅い地下に比べて地震に対して安全であり、騒音・振動の減少や景観の保護にも役立つ。

奥平野工区の事例では、法を適用することにより直線的なルート設定が可能となり、全線にわたって公道や公園の地下を占用する当初計画ルートに比べて、工事延長の短縮（約 600m）、事業費の縮減（約 25 億円）、工期の短縮（約 3 ヶ月）のほか、半径 25m 未満の急曲線施工を回避できるなどの効果が得られた。

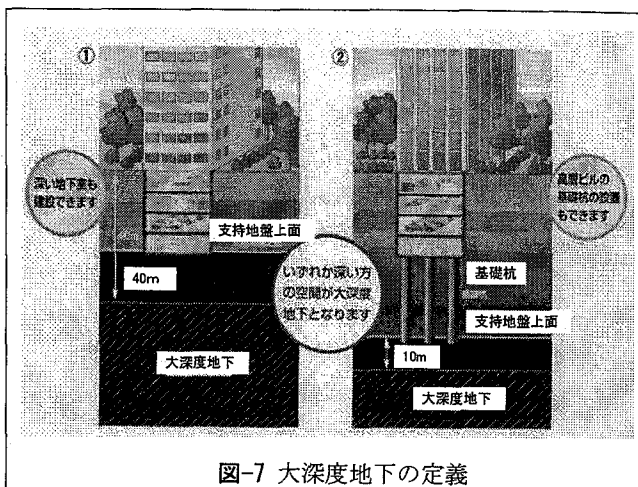


図-7 大深度地下の定義

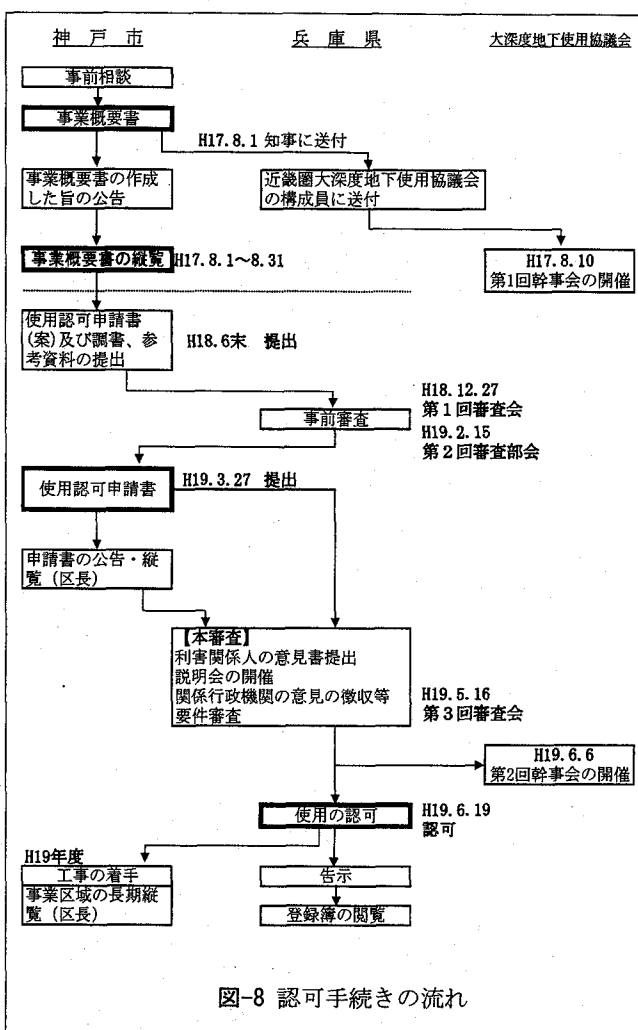


図-8 認可手続きの流れ

4. 使用認可の要件審査

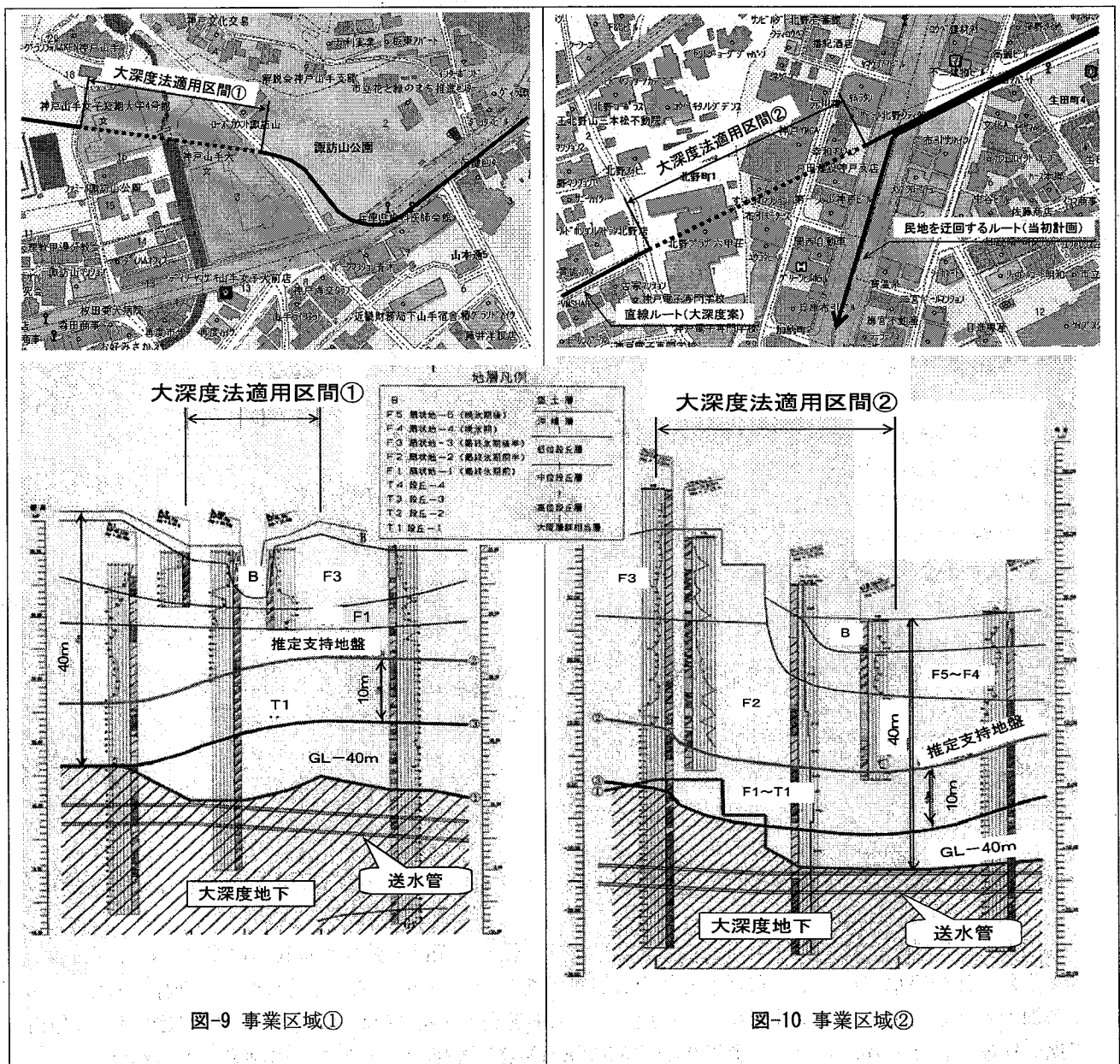
(1) 使用認可の要件

法第16条には、使用認可の要件として以下の項目が定められている。

- ①事業が法第4条各号に掲げる公益事業であること。
 - ②事業が対象地域における大深度地下で施行されるものであること。
 - ③事業の円滑な遂行のため大深度地下を使用する公益上の必要があるものであること。
 - ④事業者が、当該事業を遂行する十分な意思と能力を有するものであること。
 - ⑤事業方針が基本方針に適合するものであること。
 - ⑥通常の建築物が建築されても、地下に設置する工作物の構造に支障がない耐力を有すること。
 - ⑦事業の施行に支障となる井戸等の物件の移転または除却が困難または不相当でないと認められること。
- これらの認可要件のうち、特に認可庁の審査のポイントとなった要件について以下に報告する。

(2) 大深度地下の特定（第2号要件）

大深度地下は地盤条件（支持地盤）から一義的に定まる。この支持地盤について法施行令では「基礎杭が2500kN/m²以上の許容支持力を有することとなる地盤とする」、また技術指針¹⁾では「原則としてN値50以上、



かつ、杭の許容支持力度 2500kN/m^2 以上を有する地盤を支持地盤とする」と定めている。また、道路橋示方書（耐震設計編）²⁾には、「十分堅固な地盤とは、せん断弾性波速度 V_s の値が 300m/s 以上（砂質土層では N 値が 50 以上）の値を有している剛性の高い地層と考えてよい」と規定されている。

したがって当該工区では、 N 値が 50 以上、もしくは V_s 値が 300m/s 以上の層が連続している場合、建築物の基礎杭の支持層とみなし、支持地盤の特定を行った。

図-9 および図-10 に法を適用する区間の平面図及び支持地盤図を示す。段丘堆積層のうち $T1$ は比較的古い地層であり、大部分で N 値 50 以上が連続している。また、 PS 検層により V_s を測定した結果 600m/s 以上の値を示しており、 N 値 50 以上を示す可能性が高い地層と考えられる。以上より当該工区の支持地盤は N 値 50 以上が連続する $T1$ 層上面とした。

(3) ルートの合理性の検討（第 3 号要件）

大深度地下を使用する公益上の必要性を説明するために、設定したルートが最も合理的であることを証明することとした。そのため、当初計画ルートに加えて、代替ルートとしてすべて公道の地下を占有する場合に考えられうる物理的に可能な最短ルートを設定し、比較検討を行った。この代替ルートとの比較では、工事費にさほど有意性は認められなかったが、工期や急曲線を避ける施工性の面で申請ルートが最も合理的であると判断した。

(4) 断層横断部の検討（第 5 号要件）

基本方針に示されている大深度地下における安全の確保について、本事業は上水道事業であるため、無人施設である当施設の特性から、地震時における施設の安全対策について検討した。

図-11 に示すとおり、当該工区は西端付近で活断層である会下山断層を横断し、諏訪山断層、長田山断層に近接する。断層の詳細位置の確認のため、ボーリング調査と反射法弾性波探査を行い、断層横断部付近の断層の位置及び段丘堆積層の詳細位置を確認した。あわせて、六甲・淡路断層帯に関する既存の文献調査等を行い、その最終活動時期、活動周期、平均変異速度、変位量について検討し、卓越する断層の水平方向変位量 1.6m に対して送水管に亀裂が発生することなく、また変形後にも復旧が可能な断面が確保できるよう対策を行うこととした。

これらの検討結果として、会下山断層との交差は、高田の簡易式³⁾から、できるだけ直角に近い角度が構造的に有利になるため、交差角を 106° とした。また、断層変位によって発生する送水管の変形量とひずみを「3次元シェル架構解析」より求め、送水管への影響を評価するとともに、対策工について検討した。対策ケースとしては、「充填材の材質変更」、「管圧の変更」、「伸縮可撓管」について比較検討を行い、図-12 に示すとおり伸縮可撓管を 8 箇所に配置すれば、最大主ひずみが 1.8% となり、鋼管に亀裂が発生しない圧縮ひずみ量である 5% 以下となることが確認できた。

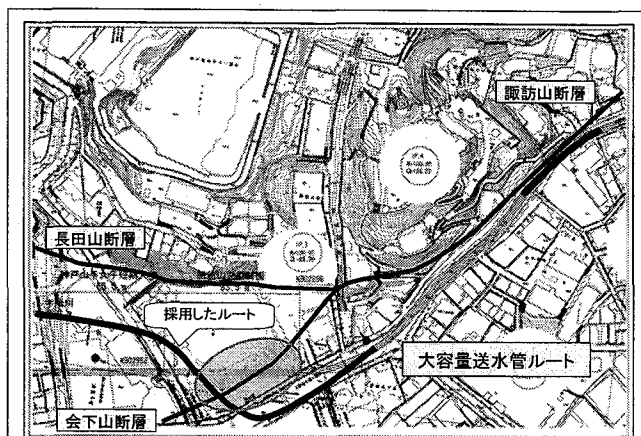


図-11 断層横断箇所

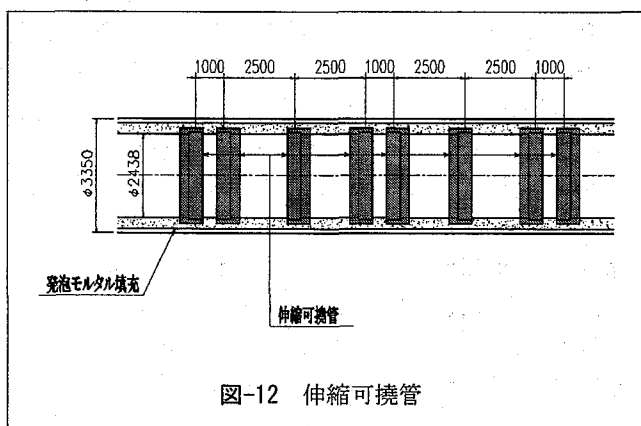


図-12 伸縮可撓管

(5) 施設耐力の計算（第 6 号要件）

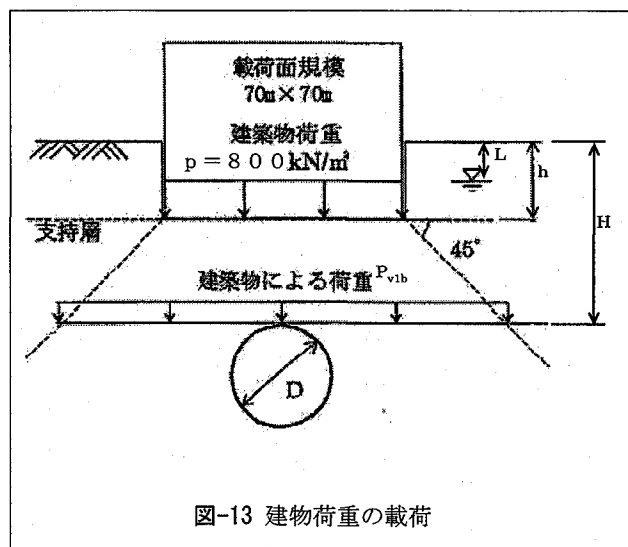
大深度地下に設置される施設は、通常の建築物が建設されても支障が生じないように、十分な耐力を有するものでなければならない。技術指針では、大深度地下の施設に最低限必要な耐力の算定は、施設の頂面にお

いて作用する土圧及び水圧ならびに建築物による荷重の合計であるとされている。

当該施設は十分な土被りを有し、支持層以深の固い地盤（N値 50 以上）に存在するため、緩み土圧理論により土圧を算定した。また、土圧に比べて水圧の影響が大きいため、土水を分離して荷重を検討した。

さらに、技術指針に基づき、図-13 に示すとおり、基礎深さ GL-25m の位置に、載荷面規模 $70\text{m} \times 70\text{m}$ 、荷重 800kN/m^2 の建築物を想定し、建物荷重として載荷した。法適用区間の中でこれらの荷重の合計が最も大きくなる位置を特定し、トンネルセグメント上面で 817kN/m^2 を耐力計算上の設計荷重とした。

なお、法適用区間に設置する送水管の構造については、セグメント、充填材及び鋼管が一体化するように充填材をコンクリートに変更した。構造解析は、これら 3 種類の構造体と地盤をそれぞれモデル化し、有限要素法により解析を行った。前記の設計荷重作用時の各材料に発生する応力度が許容応力度以下であることを確認し、設計荷重をもって当該施設の耐力とした。



(6) その他の要件審査項目

環境保全の配慮事項として、地下水位及び水質など地下水環境に与える影響について検討した。当該工区については透水性が確保された厚い堆積層の中に送水管を設置するため、地下水環境に影響する可能性は低い。また、酒造用の宮水地帯を縦貫する他工区の調査実績からも、地下水への影響は無いと考えられる。

その他、埋蔵文化財について教育委員会と協議のうえ、立坑施工箇所でも一部発掘調査を実施したが、地下深くを通るシールドトンネルは影響ないことを確認した。

5. おわりに

平成 19 年 6 月 19 日、大深度地下使用の認可権者である兵庫県知事から使用認可を得た。同法の適用により、管路延長を 600m 短縮し、工期の短縮や事業費の縮減を図ることができた。また、急曲線の平面線形を避けることができたため、施工性の向上にも大きく貢献できる計画となった。

奥平野工区では、法適用区間にかかる土地の地権者の理解が得られたため、初めての法適用事例ではあったが比較的スムーズに手続きが進んだものと思われる。また、市営地下鉄や道路トンネルを下越しするために、当初計画から深い縦断線形を余儀なくされたことも、法適用に際して追い風となった。

本論文では、比較的規模の小さい水道事業における法適用事例を紹介したが、大深度地下使用制度の活用を検討されている他の事業の参考になれば幸いである。

謝辞：今回の使用認可にあたり、技術的な助言と指導をいただいた神戸大学大学院工学研究科の高田至郎教授、神戸大学都市安全研究センターの沖村孝教授、田中泰雄教授、及び国土交通省都市・地域整備局大都市圏整備課の関係者、ならびに初めての法適用事例にもかかわらず熱心に審査いただいた兵庫県県土整備部の関係者の方々に、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省 都市・地域整備局 企画課 大深度地下利用企画室：大深度地下使用技術基準・同解説，pp. 17, 2001.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，pp26, 2002.
- 3) 高田至郎：断層と管路研究 平成 15 年度活動報告書（最終年度報告書），pp36-37, 2003.