

## 広島新交通建設工事における被圧水対策について

The Counterplan for Artesian Ground Water  
in the construction of the new traffic system in Hiroshima

地 本 勝 行' (Katsuyuki Chimoto)  
 大 村 繁 之" (Shigeyuki Ohmura)  
 白 石 光 玉"' (Mitsuyoshi Shiraishi)  
 佐々木 邦 之"" (Kuniyuki Sasaki)  
 楠 本 千賀志"" (Chikashi Kusumoto)

本報告は、広島市中心部の市街地で供用中の路面電車を仮受けしながらの大規模な開削工事を行った広島新交通システム1号線 本通り建設工事の内、広島市内特有の掘削時の被圧水対策（盤膨れ対策）についてまとめたものである。

被圧水対策工法として、深層部遮水壁工法（薬液注入による地盤改良工法）、施工管理に計測管理を採用して無事、被圧水頭下での開削工事を終了することができたので、その計画と施工実績を報告する。

キーワード：新交通システム、開削工法、被圧水、薬液注入工法、計測管理（IGC: ）

## 1. まえがき

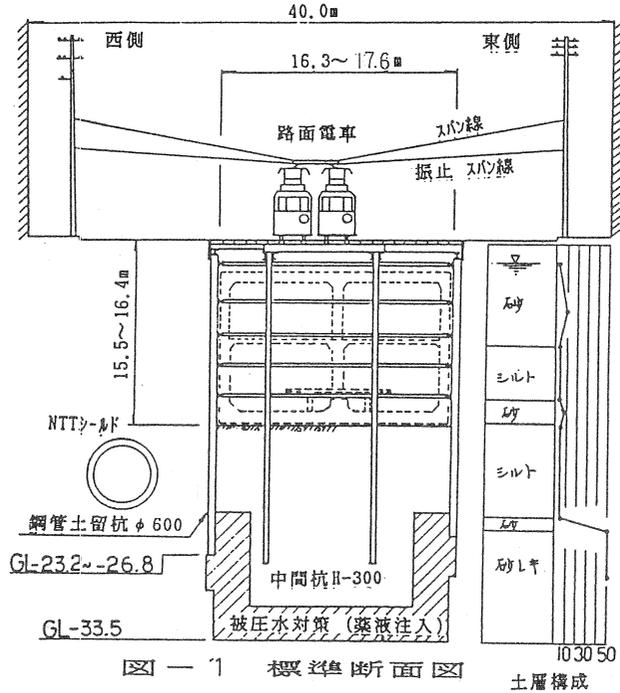
広島市では広島新交通システムが市内中心部・本通り地下駅を起点とし、広島アジア競技大会会場を終点として計画され、平成6年秋大会の開催に合わせての開業にむけて鋭意施工されている。広島新交通システムの起点付近は本通り商店街、紙屋町交差点、広島県庁等、広島市の中心地であるため、路線は国道の地下ルートとして広島デルタの地下に計画されている。広島市中心部の一般的な地質は、表層より埋立て土、砂、シルト、砂礫、基礎岩盤で構成されている。

広島市内ではシルト層の下部に位置する砂礫層には一般に被圧水があると言われており、概ね10m程度以上の掘削工事では盤ぶくれ（ヒーピング）・ボイリング等の現象が発生し事故をまねいた事例が知られている。当工事、「広島新交通1号線 本通り駅（仮称）および 線路部建設工事」の施工は地表より15～16mの開削（オープン掘削）・路面覆工方式で計画され、被圧水対策工法として、深層部遮水壁工法（薬液注入による地盤改良工法）、施工管理に計測管理を採用して無事被圧水下での開掘削工事を終了することができたので、以下に工事経過を報告する。

なお、新交通システム本通り駅工区の標準断面図および 土層構成を図-1 に示す。

---

' 広島市建設局都市交通部 参事  
 " —— " —— 新交通第二建設事務所 専門員  
 "' 鹿島・佐藤・錦建設工事共同企業体 新交通本通工事事務所 次 長  
 "" —— " —— " —— " —— 工事課長  
 ""' 鹿島建設株式会社広島支店土木部 工事部長



図一 1 櫻井線断面図

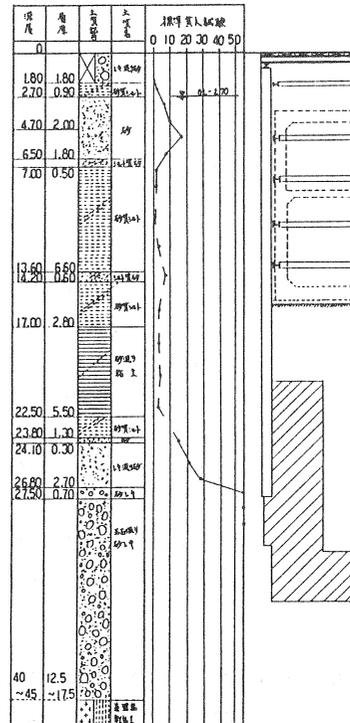
土層構成

## 2. 地質

工事計画時の地質調査結果は 図一 2 に示す地質図のようで、下部砂礫層は被圧水位(自然水位)がGL-3mと上部の砂層の自由水位と大差がないうえ、揚水試験結果では透水係数  $k = 1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$  と透水性が高く、海水域との連続も予想されるものである。

また、地質調査では 広島デルタの掘削工事上で問題となっている「硫化水素」についても調査が行われ、シルト層および 砂礫層の水中に多くの硫化水素が溶存していることが判明している。

なお、当初計画のボーリングでは計画区域で基礎岩盤を確認するまでの大深度の調査は行われていなかった。



図一 2 地質図

3. 施工上の問題点・被圧水

広島市中心部では ビルの基礎掘削および 地下駐車場の掘削工事で下部砂礫層の被圧水によると思われるヒーピング現象が発生した事例があり、当工事でも計画時点より被圧水が施工上の問題点として取り上げられた。

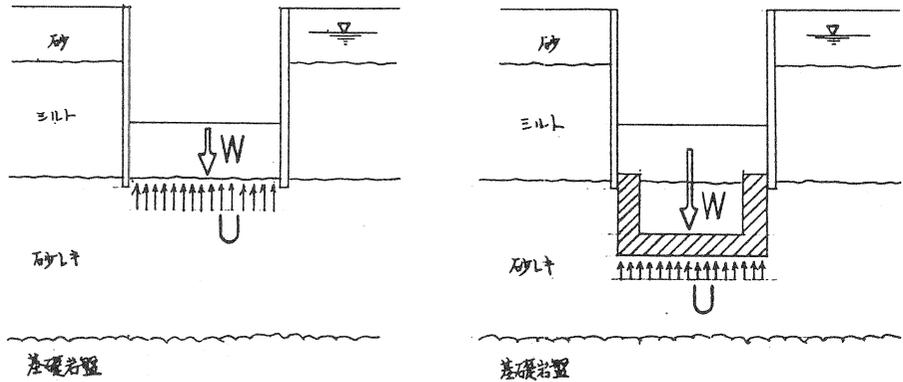
本通り駅部および 地下線路部は大断面で構造が複雑なため、施工方法は一般的な 開削・覆工方式が採用された。開削計画は図-1である。この条件下で被圧水によるヒーピング（砂礫層の水圧によるシルト層の盤ぶくれ）発生の安全率をシルト層下面で計算すると下記のように、 $F_s < 1.0$  以下となり（図-3 A参照）

ヒーピングが発生 ～ 土留め壁の崩壊

～ 周辺地盤の陥没事故の発生

が確実視され 被圧水対策工法の選定が 周辺環境へ与える影響の大きさ および 工事費のうえから最重要課題となった。

$$F_s = \frac{\text{掘削盤下のシルト層の重さ}}{\text{砂礫層の水圧}} = \frac{W}{U} = 0.6 < 1.0$$



A 改良前

B 改良後

図-3 盤ぶくれの検討

4. 被圧水対策工法の検討

当路線計画地点周辺では数多くの高いビルが建設されており、これら建物の基礎掘削の施工事例・地下水位低下工法等を参考にして表-1のような 被圧水対策工法案を作成し、学識経験者を含めた技術検討委員会の組織のもとで、各工法の有効性を比較検討し 条件付にて遮水壁案（薬液注入による遮水壁築造による工法）を採用することにした。

表一 1 被压水対策工法（案） 比較表

表一 1 被压水対策工法（案） 比較表

	地下水位低下工法	CJG工法（地盤強化案）	薬液注入工法（透水壁案）	透水壁案2（基礎岩盤薬液注）
概 要 図				
概 要	<p>チーカ工法により砂礫地盤の嵌圧水頭を低下させ、シット層下端に作用する嵌圧力を低減し掘削地盤の安定を図る方法。土留壁先端部は不透水層面を確保するため、薬液により地盤改良する。</p>	<p>CJG工法により、トレンチ底面以深の地盤を高強度地盤に改良し、地盤の強度により嵌圧力に対して抵抗させる方法。</p>	<p>薬液注入により、砂礫層に不透水層を形成し、嵌圧力の作用する面を深くして、土重量により抵抗させる方法。</p>	<p>薬液注入により透水壁を基礎岩盤にまで到達させ、掘削範囲を完全に締め切る方法。</p>
効 果	△	△	○	○
周辺への影響	×	○	○	○
施 工 性	○	○	△	△
対策の施工性	△	△	○	○
経 済 性	○	×	△	△
総合評価	×	△	◎	○



② 鋼管矢板先端部 および 鋼管周辺のグラウト効果不足発生の補強対策

鋼管矢板先端部はグラウト効果が不足すると、杭の移動・変形等で弱点となることから、十分な止水性が求められた。方法として 図-5 A に示すように矢板先端部は拡大してグラウトゾーンを造ること、また 鋼管周辺では グラウト効果を上げるため、注入孔の配置を細かくした。

③ 遮水壁範囲の細分化

遮水壁で囲まれたプール状の桶（オケ）の範囲は、工区を1区画（ブロック）とすることにより、細かく区分することで異常時の対応が容易なうえ、かつ 安全性を増す効果があるとして、図-5 B・図-8 のように遮水壁を 24 m～28 m間隔に仕切壁を設置して、改良範囲を8区分した。

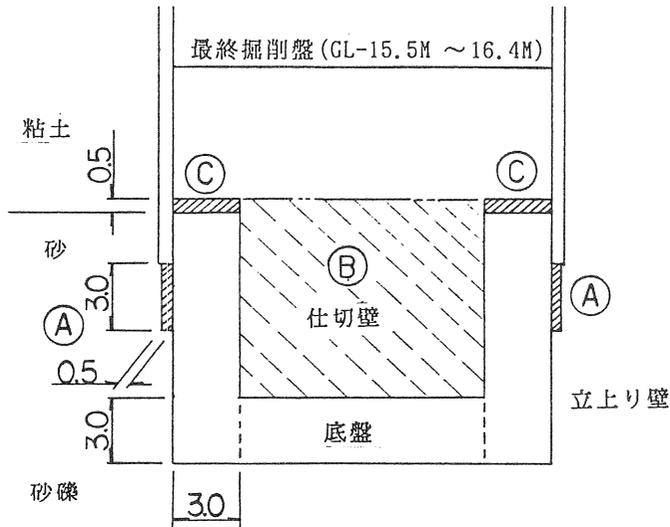


図-5 B 注入範囲

④ 砂礫層中の伏流水の流速の測定

地下水の流速が、 $v > 0.1$  cm/secであれば、一般的には注入そのものに影響があると考えられるため砂礫層中のGL-27.5m・GL-32.5m付近において、流速測定を行った。

測定の結果、流速は $v = 1 \times 10^{-5}$ cm/sec程度と非常に遅いため、注入への影響はほとんどないものと判断した。

⑤ 地層境界深度の確認

この調査は、地層境界を よりきめ細かく調査することにより、改良効果を高める目的で行った。

- ・ 不透水層（シルト層）に改良部を50 cm貫入させる。（図-5 B）
- ・ 砂層と砂礫層とで注入率 および 1次、2次の注入比率を変える。

調査の方法は、クローラー式地質調査システム（エンバソル）で行い、調査箇所数は仕切壁内のほぼ中央で 25 m間隔の東西16ヶ所で行った。

⑥ 試験注入の実施

遮水壁の透水係数の改良目標値である  $k = 1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 以下を確保するため、事前に注入率を変化させた以下の3ケースで試験注入を行った。また 砂層と砂礫層とでは 間隙率が異なり、地質に応じて効果の向上を図るため地層により注入率を変えた。なお 改良目標 ( $k$ ) については 当初、 $k = \alpha \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ との案もあったが、他の施工事例を参考にして、 $k = 1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 以下とした。

表-2 試験注入の注入率

		ケース1		ケース2		ケース3 施 工	
砂	1次注入 CB	8	30%	5	40%	5	45%
	2次注入 SL	22		35		40	
砂 礫	1次注入 CB	8	30%	10	35%	15	40%
	2次注入 SL	22		25		25	

CB : セメント+ベントナイト

SL : シリカライザー

試験注入の効果は、それぞれ現場透水試験で確認し、その結果 当現場における注入率はケース3 (砂層45%・砂礫層40%)にした。

6. 施 工 実 績

① 全体工事概要

工 事 名 : 広島新交通1号線 本通り駅(仮称)および 線路部建設工事  
 企 業 者 : 広島市建設局  
 工 事 場 所 : 広島市中区紙屋町二丁目~大手町二丁目  
 工 期 : 平成元年6月28日~平成5年9月30日  
 工 法 : 開削・覆工方式  
 規 模 : 工区延長 L = 199.0m  
           掘削深度 H = 15.5m~16.4m  
           掘削幅 B = 16.3m~17.6m  
 作 業 時 間 : 薬注作業 8:00~17:00 20:00~5:00

② 薬液注入までの施工フロー

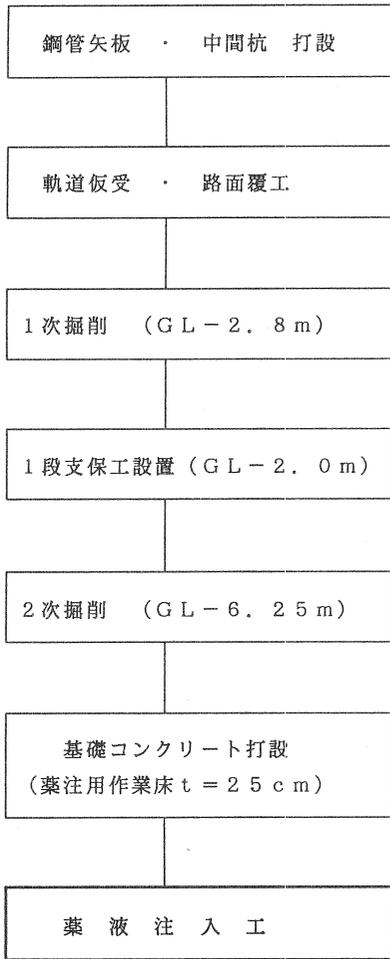


図-6 薬液注入工までの施工フロー

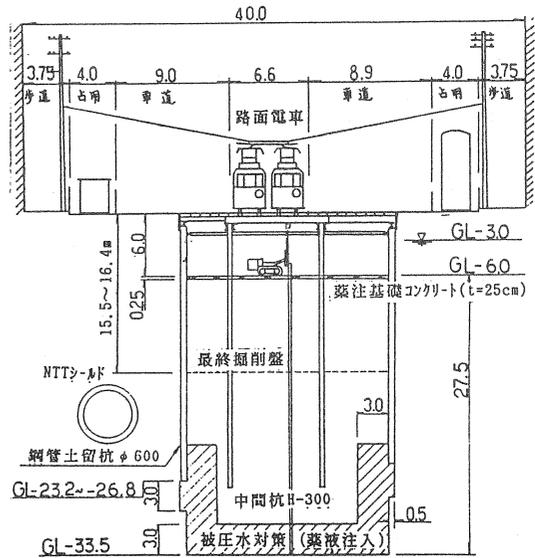


図-7 薬注時横断面図

③ 薬液注入工の施工仕様

- 工 法 : 二重管ダブルパッカー工法 (ソレタンシュ工法)
- 注入孔間隔 : 立上がり部 1.0m×1.2m 千鳥  
 仕切り壁部 1.0m×1.2m 千鳥  
 底 盤 部 1.5m×1.5m 千鳥
- 注入範囲 : 図-5 参照
- 注入方法 : ステップアップ方式
- ステップ間隔 : 333mm
- 削孔方法 : ローターパーカッション
- 注 入 率 : 表-3 参照
- 施工数量 : 表-4 参照

表-3 注入率

		砂	砂 礫
1次注入	セメントポットナイト	5%	15%
2次注入	シリカライザ-H	40%	25%
合 計		45%	40%

表-4 薬液注入工 工事数量表

工 種		仕 様		数 量
削 孔		本 数	本	2,033
		延 長	m	55,086
注 入	1次	セメントポットナイト	m <sup>3</sup>	3,165
	2次	シリカライザ-	"	7,262
	合 計		"	10,427
	スリ-グラウト		"	2,470
改良対象土量			"	25,228
改良対象面積			m <sup>2</sup>	3,275
揚水井			本	8
観測孔			"	16
基礎コンクリート			m <sup>3</sup>	817

④ 施工状況

薬液注入工の施工時（平成4年2月）の状況図（平面図・縦断図）を図-8 に示す。



⑤ 改良効果の確認（現場透水試験）

改良効果を確認するため、各ブロックに揚水井（1本×8ブロック）と水位観測孔（2本×8ブロック）を設置し、掘削の過程で構内被圧水位を自動計測により確認しながら、施工を行った。

現場透水試験は、揚水井から水中ポンプにより揚水し、揚水量が定常状態になったときの水頭差でブロック全体の”見掛けの透水係数”を求め、改良効果の確認を行った。

各ブロックの現場透水試験の結果を 表-5 に示す。

表-5 現場透水試験結果

ブロック	揚水量 (l/min)	透水係数 (cm/sec)	備 考
1	1.8	$9.82 \times 10^{-7}$	
2	0.9	$5.67 \times 10^{-7}$	最 小
3	1.1	$7.95 \times 10^{-7}$	
4	1.2	$1.39 \times 10^{-6}$	最 大
5	2.3	$1.20 \times 10^{-6}$	
6	1.8	$8.75 \times 10^{-7}$	
7	1.8	$9.26 \times 10^{-7}$	
8	1.9	$9.72 \times 10^{-7}$	
平 均	1.6	$9.63 \times 10^{-7}$	

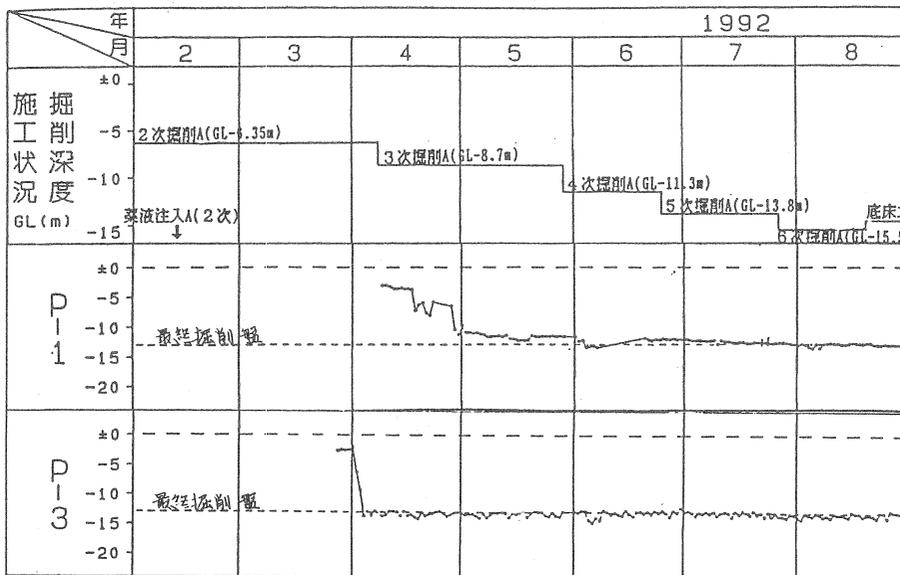
また、揚水井は 掘削地盤の間隙水圧が上昇した場合、リリーフウエルとして 揚水する目的もあったが、最終掘削まで 異常な漏水もなく、無事 掘削を完了することができた。

7. 計測管理

掘削の施工にあたっては、山留め架構の変位・応力測定だけでなく、周辺構造物、軌道 および第三者への影響をも含めて、計測管理を実施した。この報文では、紙面の都合上、被圧水対策に関する各計測項目の内、掘削地盤の”桶内水位の経時変化図”を図-9に示す。

薬液注入の桶内の揚水量は、1ℓ/分程度と微量であり、このため 水位の変動もほとんどなく一定であった。このことから、被圧水対策の薬液注入工が、所定の目的を達成できたことがわかる。

図-9 桶内水位 経時変化図



8. あとがき

広島市の新交通システム地下路線部の開削工事で、大規模に施工された地盤改良による遮水壁式の被圧水対策工法について 計画と施工実績を述べてきたが、現在（平成5年9月末）では、本通駅部・線路部とも躯体工事を終了、路面の復旧を残すまでにきている。計測管理の結果、掘削構内の地下水位の急激な変動は観測されず、また 被圧水による地盤の盤ぶくれもなく、当被圧水対策工法はほぼ計画通り施工でき、成功したものと考えている。

工事の実施にあたっては、計測管理の採用による地盤内の水位の状況 および 排水効果の把握と予測が 工事の安全施工に大きく寄与したことがあげられる。なお、山留壁 および 周辺地盤についても計測管理を行い 情報化施工の効果を上げている。これら結果については、できれば別の機会に報告したい。この工事報告が、今後 同種工事の一助になれば幸いである。

終わりに 当工事の委員会において、終始 適切なご指導を頂いた広島大学名誉教授 網干寿夫先生、広島大学教授 吉国洋先生 ならびに関係各位に当紙面をお借りして、厚くお礼申し上げます。