

新猪名川大橋の超厚地中連続壁基礎の施工

大阪第二建設部	調 査 課	門 倉 武 志
同 部	池田工事事務所	河 村 勝 俊
同 部	同 所	畑 中 英 俊

要 約

地中連続壁基礎は、基礎工法として設計・施工上様々な特徴をもっており、施工実績も着実に増加してきている。本工事の超厚地中連続壁は長大PC斜張橋の主塔部基礎で、主塔・主桁に作用する荷重の大部分を支持する最重要構造物であり、設計・施工上特筆すべき多くの特徴を持っている。そのいくつかを以下に示す。

- ① 我が国最大の壁厚を誇る円形連壁基礎で、連壁エレメント間に簡易継手構造を採用している。
- ② 基礎部2.4mから、頂版部1.0mに断面変化させた「変断面連壁」である。
- ③ 変化の激しい軟岩部における施工難度の高い連壁であり、しかも3分割（3 渇水期に跨って）で施工する。

未だ実績のない変化の激しい破碎を受けた岩盤での連壁基礎であり、特に掘削関連工種については、種々の検討を加えている。ここまでの実績では、幾分掘削幅が大きくなっており、一部溝壁の剥落も生じているが、掘削精度・掘削能率もほぼ満足できる結果が得られており、この種の地盤に於ける、掘削についての大きな実績になるものと考えている。

キーワード：施工、連壁、PC斜張橋、主塔基礎、渇水期、変断面連壁、軟岩

まえがき

大阪池田線（延伸部）で施工中の新猪名川大橋は、一級河川猪名川を約25°の斜角で渡河する橋長400m、主塔90m、の2径間連続PC斜張橋で、その規模は世界最大級となる。河川内に構築される主塔基礎（VIP2）は、外径20m（基礎深さ23m）、壁厚2.4mの超厚地中連続壁基礎（以下連壁と称する）になる。

当該地域は、基盤岩である丹波層群（古生層）の粘板岩、一部砂岩が著しい断層作用により破碎され亀裂が発達しているが、比較的硬質の岩片を

多く含んでおり、連壁掘削には極めて難しい条件下にある。その上、施工場所が五月山眼下の猪名川最狭小部で、河川占用条件が厳しく、今までに実績のない同一基礎を3渇水期に跨って分割施工しなければならない。さらに、周囲の立地条件から厳しい制約条件があり施工上の課題も多くあるが、本稿では、連壁の施工で最も重要な工程の一つである掘削時の安定液の選定および掘削の実績を報告する。

1. 連壁基礎の沿革と特徴

地中に溝を掘り、ここに鉄筋籠を建込み、コンクリートを打設し鉄筋コンクリートの壁をつくり、この壁を接続して連続の地中壁を建造する工法が「連壁工法」であり、ヨーロッパにおいて発案・育成された。日本では、昭和30年頃より、PIP工法といった柱列式工法の形式をとる連壁工法が、仮設土留壁として用いられるようになったが、柱列式工法の欠点（強度、止水性等）より壁式連続壁が注目されるようになった。この連壁工法は、昭和35年頃より外国技術の導入を始め、掘削機械の技術開発がなされ幾つもの工法が実用化されてきた。それとともに、施工精度、泥水中のコンクリートの品質、安定液の改良、鉄筋継手の開発等の問題も解決されてきた。一方、社会的にも公害問題がクローズアップされる時代となり、打込み工法に代って連壁工法の需要が増加し、その進展がめざましくなった。そして近年では、仮設構造物としての利用のみならず、構造物本体に利用す

る方向に進んでおり、また、ニューマチックケーソンに代わる基礎として実用化が進んでいる。

連壁基礎工法は、ニューマチックケーソンなどの基礎工法に比較し、次のような特徴がある。

- ① 地盤との密着性にすぐれており、摩擦抵抗が大きい。
- ② 矩形や多角形などの閉合断面を形成するので、剛性の高い基礎が築造できる。
- ③ ほとんどの地層で施工が可能である。また、水上でも施工できる。
- ④ 小さな基礎から大きな基礎まで、任意の断面形状を選定できる。基礎の深さは、100m程度まで施工できる。
- ⑤ 地上からの機械施工のため安全である。しかも、低騒音・低振動工法であり、建設公害を防止できる。
- ⑥ 周辺地盤を乱すことなく施工できるので、近接施工が可能である。
- ⑦ 基礎を小さくできるので、全体として経済的である。

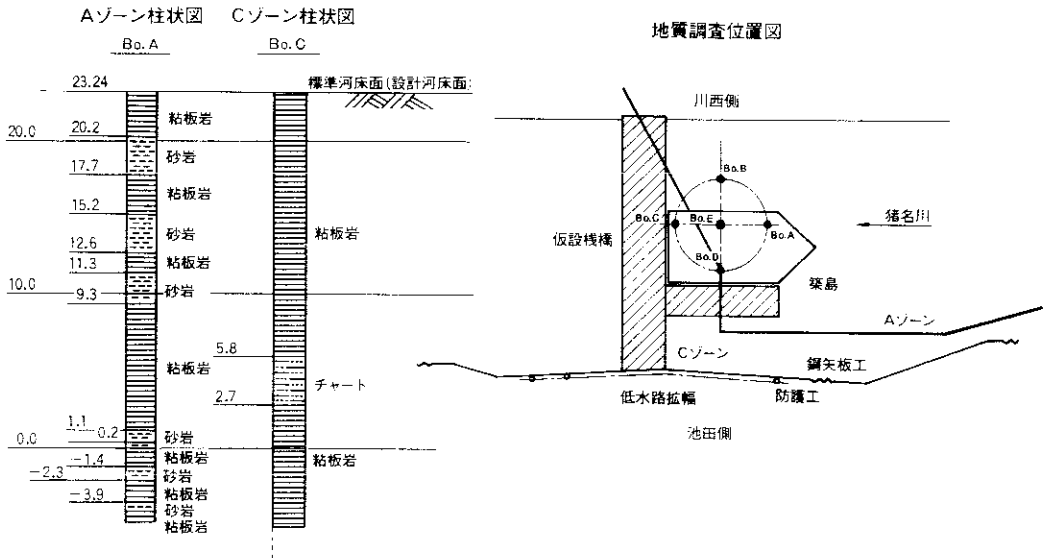


図-1 標準地質柱状図

2. 地盤概要

架設地点の地層は現河床面（op-23.5m以下GL±0）約1m以深から、基盤岩である丹波層群（古生層）で主として粘板岩、一部チャートから成っている。

この古生層は桜井向斜の南翼をなし、地層の走行はほぼ東西方向で、北落ちで、約70°の急傾斜を示している。また、当該地点の南側に位置し一級の活断層である有馬-高槻構造線と、北から西にかけて位置する五月山断層に挟まれた剪裂帯に

あり、著しい断層作用により破碎され、亀裂が発達しているが、比較的硬質の岩片を多く含んでいる。

粘板岩は、相対的に砂岩に比べてやや岩質は軟らかいが、比較的硬質の岩片を多く含み、亀裂が発達しており、岩級は概ねDH級～CL級である。

砂岩は亀裂が多いが、全般的に硬質で、所々に珪質で非常に硬い部分がある。チャートも概ね砂岩と同じ傾向である。図-1に標準地質柱状図を示す。

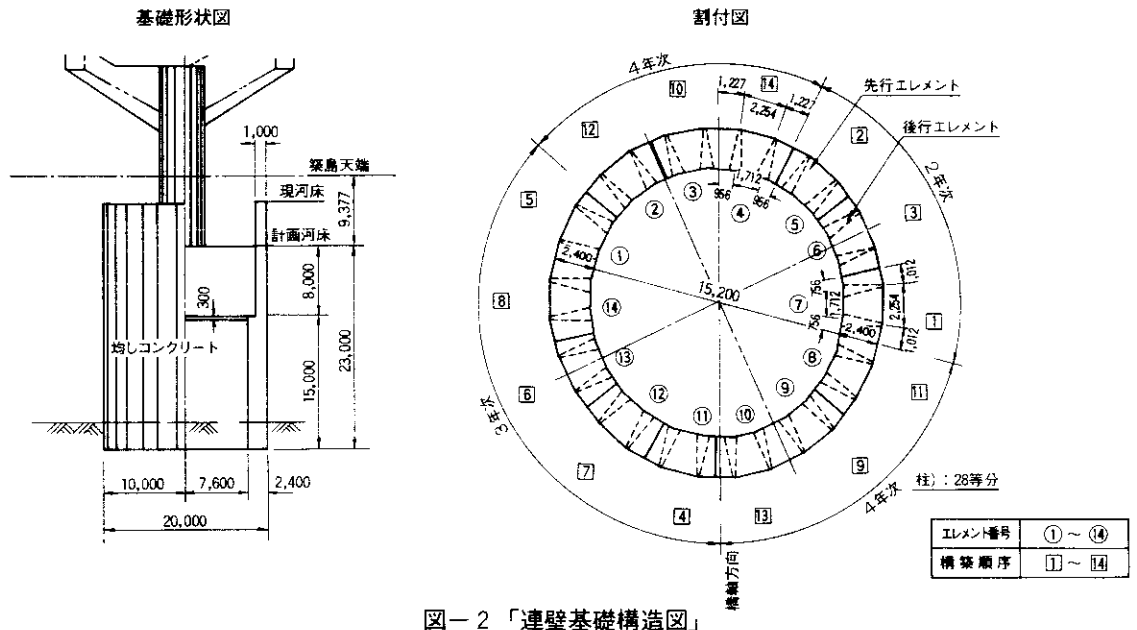


図-2 「連壁基礎構造図」

3. 構造概要

VIP 2 基礎は、図-2「連壁基礎構造図」に示すように、外径20m、基礎長23m（掘削長33m）、壁厚2.4mの超厚連壁基礎を先行7エレメント（3ガット×7＝21ガット）、後行7エレメント（1ガット×7＝7ガット）の計14エレメント、28ガットで施工する。連壁形状と掘削機の関係から、地盤条件が厳しいにもかかわらず、ガット割付上後行エレメントを1ガットで施工しなければならないことから、高い掘削精度が要求される

ことになった。また、河川占用および工事工程の関係から、図-2に示すように、3分割で施工する必要がある。

その他、本連壁基礎の設計・施工上の特徴は、連壁基礎としては国内最大壁厚（2.4m）を上述のような掘削難度の高い軟岩部で施工すること、および頂版に作用する荷重をスムーズに連壁基礎に伝達できるよう、また頂版側壁部連壁の研りを最小限に押さえるように、連壁内部に型枠を設けることにより、頂版部を1.0mに縮小させる「変断面連壁」で計画していることである。

4. 施工概要

主な施工工程の概要を、図-3のフローに示す。連壁施工において掘削作業が最も重要な工程の一つになる。すなわち、構造物の形状・構造と現場条件に適合した掘削仕様（機械の選定、掘削要素割、掘削壁面の安定等）が必要になり、品質や精度を決定する要因となる。

本稿では、掘削作業の内、安定液の選定と掘削の実績に着目して記述する。

4-1 安定液の選定

4-1-1 安定液の配合

1) 安定液配合上の問題点

本工事着手に先立ち実施した地質調査結果に基づいて、地盤条件から見た着目点と対策の要点および、施工上から見た着目点と対策の要点について表-1, 2にまとめる。

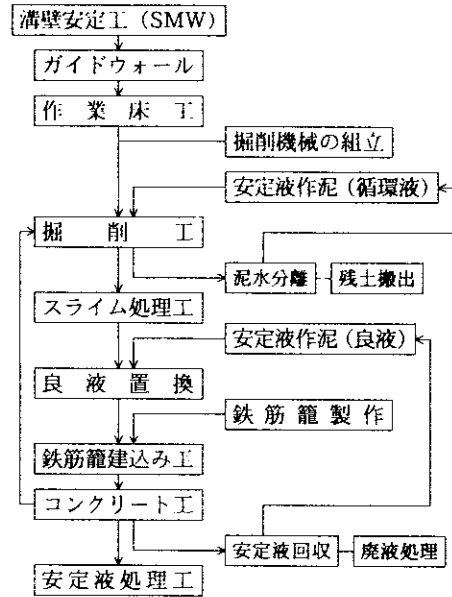


図-3 連壁施工標準フロー

表-1 地盤条件から見た着目点と対策の要点

地盤の条件	安定液の要求性能	安定液上の対策の要点
①崩壊性の微細な亀裂・節理の発達した地盤である。	①岩盤亀裂への安定液の浸透を最小限にする。 ⇒(1) 微細粘土成分を多く含む (2) 比重が高くかつ極力低い濾水量を維持する。	①の1)および2)について ベントナイトを多くするか加重材を必要とする。 ①の2)について 陽イオンの影響で濾水量が増加しないようにする必要がある。
②砂岩層に透水係数の高い層が見られる。 ($K=10^{-2}$ cm/sec) また、地下水流が観測されている。	②砂岩層の亀裂への安定液の逸泥を防止するため逸泥防止剤が必要である。	②について (1) CMCの腐敗を避ける無機系逸泥防止剤が必要である。 (2) 循環処理中にカットされない方法が必要である。

表-2 施工上から見た着目点と対策の要点

施工の条件	安定液の要求性能	安定液上の対策の要点
①地盤改良の影響 1 ソイルセメント柱列抗 2 地盤安定処理工 (セメント系安定処理)	①陽イオンの混入による劣化を防止できる安定液が必要である。	①陽イオン類電解質の影響を受けないCMC系安定液とし、更にイオン封鎖剤として、 NaCO_3 、 NaHCO_3 を使用する。

2) 安定液の具体的対処法

前述した諸条件に適合した安定液の選定について、本稿では比重と濾水量に着目して記述する。

I) 比重

崩壊性地盤の安定液は、一般的に比重の高い方が望ましい。比重を高くする効果として、大阪層群のクラッキーな洪積粘土の連壁掘削の例があり、部分剥落に対し、1.08以上の比重で剥落を防止できたという報告がある。

しかし、比重を高くすることは、本体構造物の品質にとって望ましいとは言えないほか、作液上および循環上の問題もあり、また、溝底沈殿物量が多くなるほど、不経済にもなることから、種々検討の結果、比重の標準値として、1.04 (当初計画 1.02)を採用することにした。

II) 濾水量

陽イオンの影響が増加しないようにするためには、ベントナイト濃度を低くして、CMC系安定液をベースにする必要があるが、比重を維持するために、6%程度のベントナイトを用いる必要がある。

これらの矛盾点を解消し、目的を達成できる安定液として、低粘性のCMC、セルベスマッドRB-10(当初計画 セルベスマッドRB-35)を使用することにした。

この場合の管理目標値を下記のとおりとした。

管理目標値；ファネル粘土：30sec
(当初計画 ≤30sec)
濾水量：8ml
(当初計画 ≤15ml)

3) 安定液の材料と配合

連壁工事で安定液は、掘削時の溝壁の安定という重要な役割を果たしている。

施工条件を勘案して機能を十分に発揮できるよう、適切な材料の選定及び配合の設計を行う必要がある。

本工事では次表に示すような材料を選定し、

ベントナイト系安定液とポリマー系安定液の中間的な安定液を配合した。

表一 3 安定液材料

材 料	材料に要求される品質	品 名
ベントナイト	耐イオン性ベントナイト	豊順 浅間
CMC	エーテル化度 1.3以上、低粘性	セルベスマッドRB-10
分散剤	イオン封鎖能力のあるもの	テルフロー-E
逸泥防止剤	地盤の間隙を充填するのに適切な形状と大きさを有し、懸濁性に優れたもの	MD-100、マイカフレーク、ロックウール
イオン封鎖剤	2価陽イオンを不溶性にする炭酸塩	Na ₂ CO ₃ 、NaHCO ₃
PH調整剤	安定液のPHを高く維持する	苛性ソーダ、炭酸ソーダ

表一 4 安定液の標準配合表及び標準配合管理目標値

安定液の標準配合表 (単位 kg./m³) 標準配合管理目標値

材 料	配合量	材 料	配合量	比 重	1.04 (1.02)
水	973 (983)	分散剤	2 (2)	粘 性	28-32 _{sec} (同じ)
ベントナイト	60 (30)	逸泥防止剤	8 (8)	濾水量	≤ 8 ml (15ml)
CMC	4 (5)	変質防止剤	0 (0)	PH	9-12 (同じ)

() 内は、当初計画の配合および目標値を示す

4-2 掘削の実績

4-2-1 掘削機の選定

本工事で実施した地質調査結果から、粘板岩中に球状～レンズ状に比較的硬質な砂岩およびチャートが狭在している地点と、していない地点があり、両岩質に大きな相違が見られることから、同一深度における岩の硬軟の変化が激しいことが分かった。このため、連壁掘削機械の片効きによる、ピットの過度の消耗並びに掘削能力への多大な影響が考えられる。また、前述のように特に掘削精度を必要とする本連壁で、精度についても大きな影響がでてくることが予測された。

そこで、本工事では、水平多軸回転カッター方式のエレクトロミル掘削機 (EMX-240) を使用した。尚、図-4に掘削機の概要を示す。

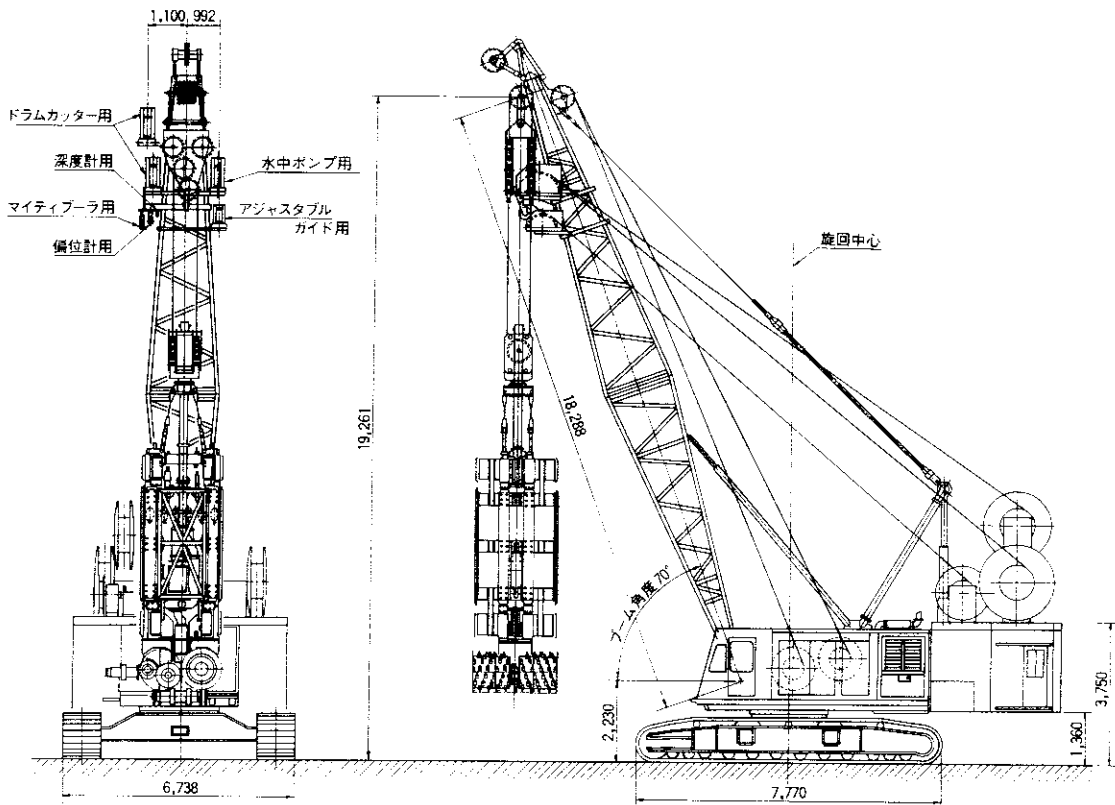


図-4 掘削機概要図

4-2-2 溝壁の実測結果

連壁基礎特有の問題および本連壁基礎の特殊形状から、このような硬軟の変化が激しい岩盤にもかかわらず高い掘削精度が要求されたが、十分な事前検討並びに徹底した掘削管理の結果、最大偏位量の目標値5cm（管理限界値10cm）を満足することができた。

破碎されてひびわれた節理の発達した岩盤での連壁掘削ということで、最も懸念した溝壁の剥落現象については、16ガット（全28ガット）掘削時点で一箇所砂岩と粘板岩の層境付近で奥行き60cm程度の剥落が生じた以外剥落はなく、安定液の選定が一応の効果を示しているものと考えられる。

この剥落の原因としては、以下のことが考えられる。

- ① 層境に水みちがある。
- ② 亀裂が発達し、走行が約70°と急傾斜である。

③ 硬質の砂岩で大きなスラストを必要としたため、粘板岩を蹴り込んだ。

尚、図-5に溝壁測定結果の一例を示す。

4-2-3 掘削の能率

各地盤毎の標準的な掘削能率を、表-5に示す。

図-5に示しているように、機械掘削幅2.43mに対し、実平均掘削幅が2.55mと10cm以上広く掘削している。これは、本掘削地盤の特殊性に起因しているが、限られた工期内の掘削を強いられる結果、やや大きめのスラスト（掘削するのに地山にあずける荷重）をかけたことによるものと考えられる。

また、本四連絡橋の泥岩層で見られた、破碎されて活性化した粘板岩の微粒子が粘着力を持って、掘削機のドラムカッターに付着固結し、掘削能力を著しく低減させる問題については、顕著な障害にはならなかった。

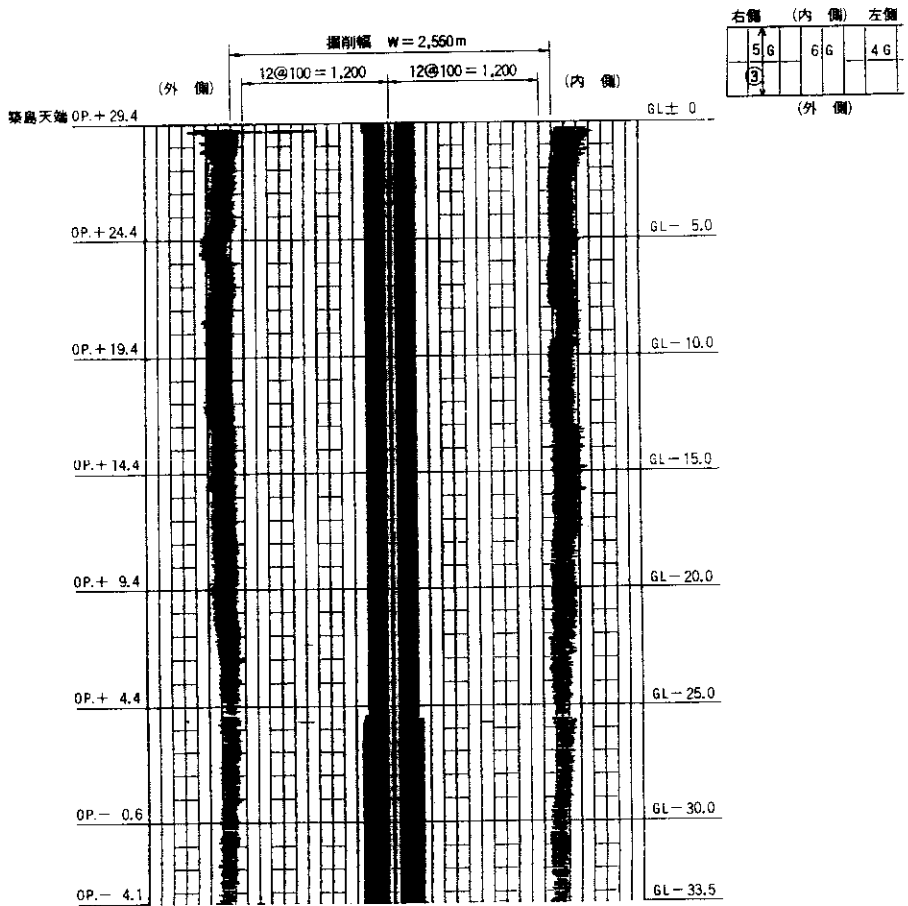


図-5 溝壁測定結果

表-5 連壁純掘削時間表

エレメント	掘削順序	地盤条件別掘削時間															合計掘削時間	備考		
		砕石層			粘板岩(A)層			粘板岩(B)層			チャート層			砂岩層						
		層厚(m)	掘削時間(H)	平均能力(m/H)	層厚(m)	掘削時間(H)	平均能力(m/H)	層厚(m)	掘削時間(H)	平均能力(m/H)	層厚(m)	掘削時間(H)	平均能力(m/H)	層厚(m)	掘削時間(H)	平均能力(m/H)				
(7)	①	2.660	1.5	1.80	17.717	24.5	0.75	5.000	7.9	0.63	4.000	14.0	0.29	—	—	—	47.7	総掘削時間 130.3H		
	②	〃	1.4		14.717	18.2		12.000	17.7		—	—		—	—		—		—	37.3
	③	〃	1.6		17.217	23.7		7.500	13.1		2.000	6.7		—	—		—		45.1	
(5)	④	〃	1.4	1.92	16.517	19.0	0.82	—	—	—	—	—	—	10.2	35.0	0.28	55.4	総掘削時間 150.1H		
	⑤	〃	1.6		24.217	32.5		—	—		—	—		2.5	10.2		44.3			
	⑥	〃	1.1		18.717	21.1		—	—		—	—		8.0	28.2		50.4			
(6)	⑦	〃	1.3	2.10	19.217	25.7	0.75	7.000	10.5	0.65	—	—	—	—	—	37.5				

あとがき

掘削機械等の開発に伴う、施工精度・品質の飛躍的な向上と、本体利用への強い要望を背景に、多様化する施工条件を克服できる自由度の高い基礎形式として、連壁基礎が、急速に発展してきている。

長大PC斜張橋の主塔基礎として採用された連壁基礎は、特筆すべき多くの特徴を有している。そのうち本稿で、特に硬軟の変化が著しい岩盤部における連壁掘削工に的を絞ってその概要を紹介したが、このような施工条件でも適応が可能であることがわかった。工事は、今渇水期、最長2年間放置した連壁分割部の継手施工に入る。継手部の施工法については、昨渇水期の試験工事でほぼ目処はたっているが、投入碎石の固結度の推定が困難なことから幾分の不安材料を残している。今後も、技術的課題の鋭意解決を図り、世界最大級の橋梁の基礎に相応しい成果を残したいと考えている。

参考文献

- 1) 地中連続壁基礎協会・連壁基礎施工検討委員会：地中連続壁基礎工法ハンドブック（施工編）、平成3年7月10日
- 2) 門倉、河村：新猪名川大橋地中連続壁基礎の岩掘削、第24回技術研究発表会、平成4年