

新 E C L 工法の施工法とコンクリート打設実験

CONCRETE PLACING EXPERIMENT FOR NEW EXTRUDED CONCRETE LINING METHOD

今井 実*

風間広志*

川上房男**

重田安彦**

Minoru IMAI, Hiroshi KAZAMA, Husao KAWAKAMI, Yasuhiko SHIGETA

The purpose of concrete placing experiment was carried out to confirm performance of New Extruded Concrete Lining Method, which allows construction of in-situ lining concrete in the unsolidied ground under high groundwater pressure. Experiment has been performed to hold concrete pressure at $0.5 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ over the groundwater pressure. Materials for ground is three kind of glassbeads, sands, crushed stone. Groundwater pressures are 2 and 3 kgf/cm^2 .

Test results revealed proper performance and quality on ① the performance of the extrusion system to hold concrete pressure, ② performance of control system, ③ the state of boundary surface between ground and concrete, ④ quality of concrete.

Key words : extruded concrete lining, groundwater press, control system

1. はじめに

日本の大都市の多くは沖積平野に位置しており、地盤は未固結で地下水位が高い。このため現在、都市部およびその周辺地域における都市トンネルの多くがシールド工法により施工されている。シールド工法の一次覆工にはセグメントを使用しているが、この代わりにシールド機のテール部で鉄筋、型枠を組立て、直接コンクリートを地山と型枠の間に打設して覆工を行う『有筋の E C L 工法』の開発研究が進められており、その施工法の一部については実工事での施工例も報告されている。しかし、未固結で高水圧がかかる地山で地下水位を維持したまま『有筋の E C L 工法』を実施した施工例はなく、止水性、施工性等でさらに開発・改良すべき課題を有している。

当社では、打設したコンクリートの内部圧力を地山の土圧・水圧より常に高く保つ機構を設け、かつ打継ぎ目をできるだけ少なくしたコンクリートの打設により、止水性が高く、かつ施工性にも優れた『新しい E C L 工法』を考案し、その開発を進めてきた。

本編では未固結で地下水位の高い地盤でのトンネル構築を『新しい E C L 工法』で施工する場合の概要と、本工法が地下水圧下で有効・確実であることを検証した『コンクリート打設実験』の結果について報告する。

2. 新ECL工法の概要

2.1 新ECL工法全体概要

図-1に全体概要縦断面図、図-2にテール部横断面図を示した。

(a) 図に示すようにシールド機テール部を2重にし、内外の円筒形プレート間を平プレートで接合し、複数の弓状の室に分け、これをコンクリートピストン室とする。この内部にコンクリート押しピストンを設け、圧力保持ジャッキの伸縮によりコンクリートの内部圧力を調整する。

(b) 妻枠機構は、鉄筋と一体化した埋殺妻枠金物と、シールドの蛇行を修正するための補助妻枠からなる構造とし、妻枠部を解放することなく、コンクリート圧力保持を常時行うことを可能にする。

上記2つの機構により掘進時、鉄筋・型枠組立て時等、すべての作業実施時にコンクリート圧を地山の土・水圧よりも高く保持することが可能となる。

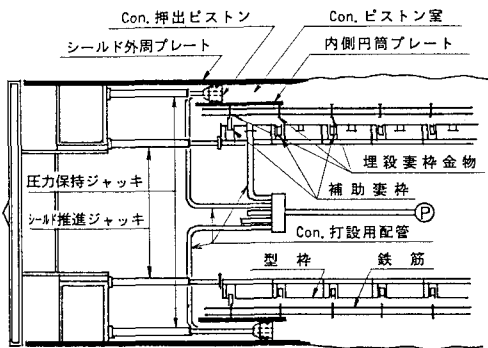


図-1 新ECL工法全体概要縦断面図

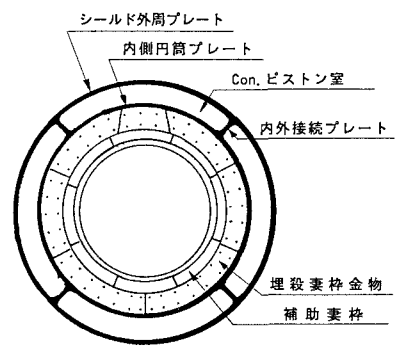


図-2 テール部横断面図

2.2 新ECL工法・施工手順

図-3はコンクリート打設部分を拡大したもので、施工手順を以下に示す。

(a) 上図は鉄筋・型枠の組立てが終了した状態である。埋殺妻枠金物にかかるコンクリート圧力は先行リングからの鉄筋と接合し、硬化したコンクリートリングに反力を取る構造となっている。コンクリート圧力 P_0 は、地山の圧力 P_J より常に高くするようにCon. 押出ピストンにより保持する。

(b) 中図はCon. 打設用配管から型枠内にコンクリートを打設した状態を示している。後行リングの新規打設コンクリート圧力 P_A が、 P_0 より多少高くなった時点で打設管のシャッターを閉め、先行・後行リング間の補助妻枠をさげる。

この後、Con. ピストン室にコンクリートを打設し、 P_0 を P_J より常に高く保持しながらシールド機を掘進させる。

(c) 下図は掘進が完了し、鉄筋・型枠を組立てるためにシールド推進ジャッキを引き戻した状態を示している。

上記作業を繰り返し、シールド掘進を行う。

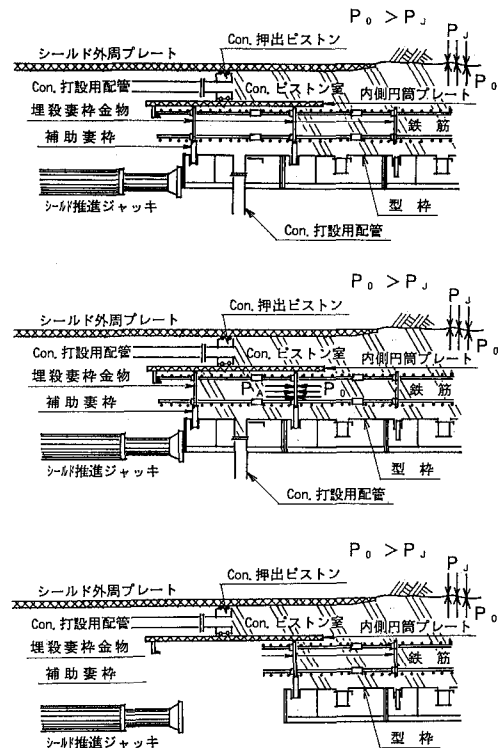


図-3 新ECL工法・施工手順

2.3 新ECL工法の特徴

- (a) シールド機テール部を2重にし、シールドの掘進中でもコンクリート圧力を地山の圧力より常
高く保つ機構と制御システムを持ち、未固結で地下水位が高い地盤でも構築可能とした。
- (b) 埋殺妻型枠等の機構と遅延型コンクリートの組合せにより、初期のコンクリート強度発現が不要
となり、作業の連続が可能となり工期の短縮がはかれる。
- (c) 埋殺妻型枠等の機構により、コンクリート圧の保持が容易で、高水压下での作業が可能である。
- (d) 低発熱セメントと遅延型コンクリートの使用により、温度ひびわれ等が抑制できる。
- (e) 遅延型コンクリートの使用により、配管等の清掃が低減でき、施工性が良くなる。
- (f) 遅延型コンクリートの使用により、昼夜の交替時も打継目が出来ないため、止水性の良い覆工が
可能である。

3. 実験方法

3.1 目 的

コンクリート打設実験により以下に示す事項について実験的検討を行った。

- (a) コンクリート圧力保持機構と制御システムの作動。
- (b) 埋殺妻型枠によるコンクリート圧力保持性能。
- (c) コンクリートの圧力注入による地山とコンクリート境界面の状況。
- (d) コンクリートの流動性と品質。

3.2 実験装置

実験が 2.2項の施工手順を模擬できるように、全体シールド機からコンクリート打設部分を取り出す
形で装置を作成した。図-4に装置の全体平面図、図-5に実験槽の断面図を示した。

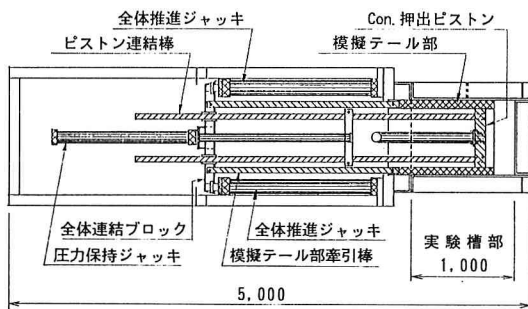


図-4 実験装置・全体平面図

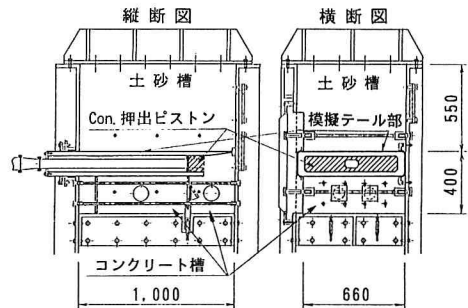


図-5 実験槽・断面図

図-5に示すように、実験槽の大きさは、幅；660 mm、
長さ；1,000 mm、高さ；950 mm で、その中央付近にシ
ールド機テール部を矩形に模擬し、その内部にCon. 押出ピ
ストンを設置した。模擬テール部の全厚さは 160mm、コンク
リート打設全厚は 400mmで、土砂槽厚さは 550mmである。

図-4に示すように、両サイドの全体推進ジャッキによ
り模擬テール部を前進させ、シールド掘進を模擬した。ま
た中央部の圧力保持ジャッキでCon. 押出ピストンを前後さ
せて模擬掘進中のコンクリート圧力の管理を行った。

写真-1に装置の全景を示した。

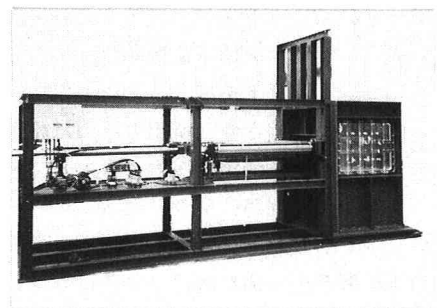


写真-1 実験装置・全景

3.2 模擬地山

土砂槽にはガラスビーズ、砂、碎石の3種類を注水しながらバイブレーターで締め固めて模擬地山とした。図-6に粒度曲線を示した。地下水のコンクリート内部への浸透状況を測定するために、蛍光染料を混入した水道水を模擬地下水として使用した。地下水圧はコンプレッサーにより所定の圧力を土砂槽に与えることにより設定した。

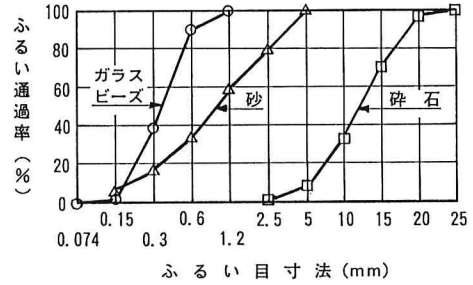


図-6 粒度曲線

3.3 打設コンクリート配合

(a) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、最骨材は栃木産陸砂と木更津産山砂の混合砂（粗粒率 2.63、比重 2.61、吸水率 2.71）、粗骨材は青梅産（粗粒率 6.62、比重 2.65、吸水率 0.73）、高性能AE減水剤はポリカルボン酸系、増粘剤は水溶性高分子を使用した。

(b) 配合

コンクリートの配合は、表-1に示す通りである。

表-1 コンクリート配合表

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スラン プ フロー (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨 材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					水	セ メ ン ト	細骨材	粗骨材	高性能 減水剤	増粘剤
					W	C	S	G		
20	65±5	5±1	40	53	180	450	896	807	13.5	1.3

3.4 コンクリート圧力設定・管理

コンクリート押出ピストンに取り付けた土圧計で測定したコンクリート圧力 P_0 が地下水圧 P_J に対し、 $P_J + 0.5 \text{ kgf/cm}^2 \leq P_0 \leq P_J + 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ に設定した。管理方法は

$P_0 \leq P_J + 0.5 \text{ kgf/cm}^2$: 圧力保持ジャッキ；伸・・・コンクリート圧縮；圧力増加

$P_0 \geq P_J + 1.0 \text{ kgf/cm}^2$: 圧力保持ジャッキ；縮・・・コンクリート膨脹；圧力減少

となるように自動制御を行った。

3.5 実験手順

(a) 埋殺妻枠金物、鉄筋を設置した後、実験槽部を組立て、模擬テール部を最後部まで後退させる。

写真-2に妻枠、鉄筋を設置した状況を示した。

(b) 土砂槽にガラスビーズ等を入れ、模擬地山を作成し、上部蓋を閉め密閉する。

(c) コンクリートを投入し、圧力保持ジャッキを手動により伸縮させ、所定の圧力に設定する。

(d) 地下水圧を所定の圧力に設定し、圧力保持ジャッキを自動制御に切り替える。

(e) コンクリートを打設しながら、模擬テール部を前進させる。

(f) 模擬テール部が所定の位置に到達した時点で前進を止め、必要なら圧力を保持する。

(g) 所定の圧力保持時間が経過した時点で、土砂槽圧力を解放する。

(h) 翌日、実験槽を解体して、硬化したコンクリートを取り出す。

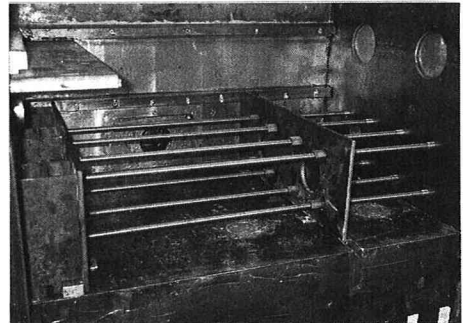


写真-2 妻枠・鉄筋設置状況

4. 実験結果

4.1 コンクリートの品質

(a) フレッシュコンクリートの性質

打設したコンクリートのスランプフローは 65 ～70cmの範囲であったが、増粘剤の使用により材料分離もなく、流動性も良好なコンクリートであった。また、コンクリート圧力注入による品質の影響もなかった。空気量は 4.4～ 5.8%、コンクリートの練り上がり温度は 26.0 ～33.0℃であった。

(b) 硬化コンクリートの強度

図-7に材令と圧縮強度の関係を示した。いずれの供試体とも材令 2日で 200kgf/cm² 以上、材令28日では 500 kgf/cm² 以上の強度発現である。また供試体間の強度のバラツキも少なく、安定したコンクリートが打設できた。

表-2にコア強度を標準養生強度と比較した結果を表した。コア強度はいずれの供試体も標準養生強度とほぼ同等であり、注入打設によるコンクリートの品質への影響はないものとする。

表-2 圧縮強度 (材令28日・kgf/cm²)

	No. 1	No. 2	No. 3
標準養生	512	520	548
コア	518	517	525

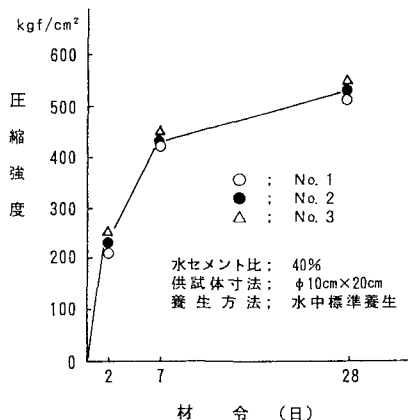


図-7 材令-圧縮強度

4.2 コンクリート打設実験

実験目的 (a)コンクリート圧力保持機構と制御システムの作動、(b)埋殺妻型枠によるコンクリート圧力保持性能を確認する方法として、実験槽の各所に取り付けた土圧計による圧力測定結果から判断した。以下にコンクリート圧力測定結果を示す。

(a) コンクリートの圧力測定結果

稼働時のコンクリート圧力、土砂槽の圧力、Con. ピストン室内圧力状況の一例を図-8、9に示した。

図-8は地山材料が砕石で設定地下水圧 2.0kgf/cm²、Con. ピストン室圧力を 2.5～ 3.0 kgf/cm² の範囲に目標設定し、模擬テール部前進時(シールド推進を模擬)の各所の圧力状況を表したものである。模擬テール部の前進速度は約 30mm/分とした。

3.5項の実験手順に従って土砂槽の地盤を造成後、コンクリートをCon. ピストン室圧力が所定の圧力 (3.0kgf/cm²) に達するまで圧力注入する。その後、土砂槽に所定の圧力 (2.0kgf/cm²) をかけ、推進ジャッキと圧力保持ジャッキを自動制御に切替え、模擬テール部を前進させる。模擬テール部を前進(図-5・縦断面図で左方向)させるとコンクリート圧力が低下し、 2.5kgf/cm² になると圧力保

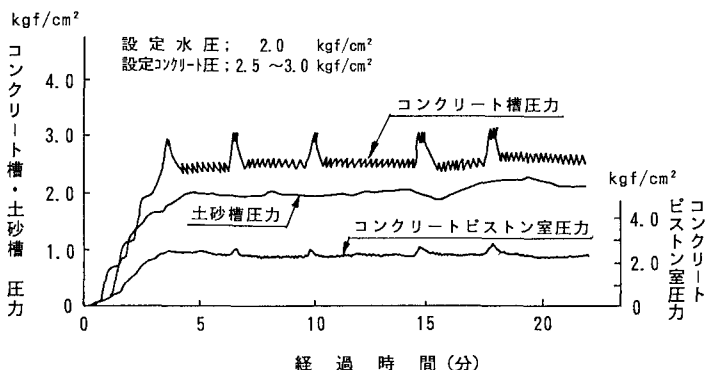


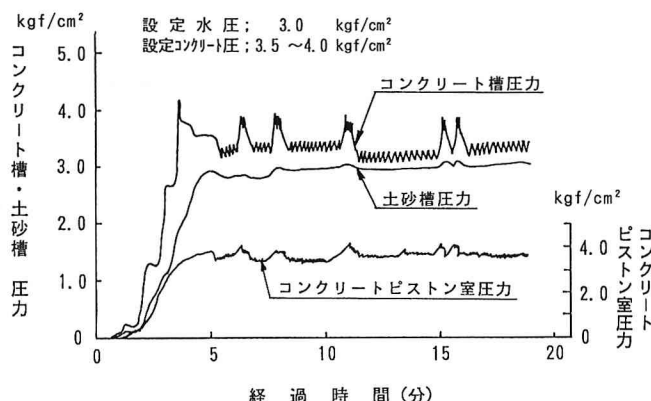
図-8 コンクリート圧力測定結果(1)

持ジャッキでCon. 押出ピストンを前進（図－５で右方向）させ、圧力が 2.7kgf/cm^2 に達した時点で停止する。以後、模擬テール部の前進中にコンクリート圧力の変化に伴いこの作業が繰り返される。その状況がコンクリート槽圧力の折れ線グラフとして連続的に表示されており、装置の制御システムの作動、コンクリートの注入およびコンクリート圧力保持が順調に行われることが示された。折れ線グラフの途中の凸部はCon. ピストン室のコンクリートを補給している時の圧力状況である。土砂槽圧力はほぼ所定の圧力を保持している。Con. ピストン室圧力状況もほぼ所定の圧力通りである。

図－９は地山材料がガラスビーズで、設定地下水圧 3.0kgf/cm^2 、Con. ピストン室圧力を $3.5 \sim 4.0\text{kgf/cm}^2$ の範囲に目標設定し、模擬テール部を前進させた時の各所の圧力状況である。図－８と同様に圧力を高くしても、装置の制御システムに作動、コンクリートの注入およびコンクリート圧力保持が順調に行われることが示された。

またコンクリート練り混ぜ 3 時間後でスランプフローが $55 \sim 60\text{cm}$ に低下しても、Con. 押出ピストンは容易に作動し、コンクリートも支障なく注入できた。

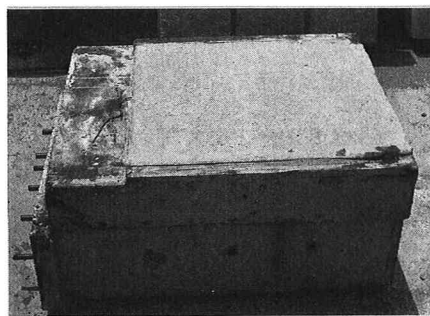
さらに、埋殺妻枠金物と内側プレートの隙間が 8mm 以下であれば初期にモルタルが多少漏れる現象が見られたが、コンクリート圧力は十分に確保できることが確認できた。



図－９ コンクリート圧力測定結果（２）

(b) 仕上がり、地下水浸透状況

写真－３に模擬地山としてガラスビーズを使用した実験（地下水圧 2kgf/cm^2 、コンクリート圧 $2.5 \sim 3.0\text{kgf/cm}^2$ ）の仕上がり状況を示した。コンクリート表面は滑らかで、地盤が十分締め固まった状態であれば、本実験の圧力差で地盤とコンクリートの境界面での変形が生じないことが確認された。砂の場合はほぼ上記と同様で、碎石の場合は骨材間に多少ペーストが注入されていた。地盤が緩い（地山締固めにバイブレーター未使用）場合、コンクリートが地盤を押し上げる状況が観察された。



写真－３ 仕上がり状況

打設したコンクリート内部への地下水の浸透状況を測定した。3・2項に述べたように、地下水には蛍光染料を混入させ、硬化したコンクリート試験体から採取したコア内部への蛍光染料の浸透状況を実測した。この結果、コンクリート内部に地下水が浸透していないことを確認した。

５．終りに

本実験により、新ECL工法のコンクリート圧力保持機構、制御システムおよびコンクリートの品質などを明らかにすることが出来た。今後はこの結果を、実機の設計に反映させていく予定である。

最後になりましたが、本実験の推進に協力して頂きました『東陽コンサルタント株式会社』の担当者各位に心から感謝致します。