

Ⅲ-443 シールド二次覆工コンクリート模型実験(その1)

(株)熊谷組 正員 ○野口 利雄
 (株)熊谷組 正員 山本 征彦
 (株)熊谷組 木全 一雄

1. まえがき

シールドトンネル二次覆工コンクリートは、強度が十分発生する過程でひびわれの発生する場合が多く、漏水や外観を損ねる原因となり、トンネル機能の阻害や耐久性の低下をも招くため、その防止が望まれている。そこで、ひびわれ発生原因についてのアンケート調査、現場調査を行った結果、施工上対策を行える要因は、トンネル上部の空隙の発生とブリージング水などの余剰水によるコンクリートの品質劣化であることがわかった。

この発生要因の防止を計るため、トンネル頂部をモデル化した型枠を用いて、種々の対策方法について模型実験を行った結果、トンネル上部の空隙量、およびブリージング水などの余剰水量を減少させる方法とその効果を把握することができたので、ここに報告する。

2. 実験方法

スチールセグメントを使用したシールドトンネルに二次覆工コンクリートを打設する場合、主桁、縦リブおよび継手板が障害となり残留空気が存在しやすくなる。この残留空気を抜くため、縦リブには空気抜きとして、片側に切り欠けを設けてあるが、頂部では空気の逃げ道がなく、図-1に示す滞留線より上部に空気が残留する

そこで本実験では、トンネル頂部をモデル化した模型実験型枠によりトンネル軸方向に空気がどう逃げるか検討する。模型実験型枠を図-2に示す。

コンクリート厚とセグメントの主桁に相当する仕切板の高さは、実大シールドトンネル頂部と同じ寸法でそれぞれ325mmと125mmとした。型枠の全長は2950mmで仕切板の間隔はセグメント幅に相当し750mmとした。型枠の幅は300mmである。

型枠上部は、実験中にコンクリート

の流動状況および充填状況を観察するため、透明なポリカーボネイト板を使用した。実験装置は模型実験型枠、コンクリートポンプで構成され、コンクリートの打設はスクイズ式のコンクリートポンプを用い、打設方式は、現在ほとんどの現場で採用されている吹き上げ方式とした。

打設条件は、現場で設定できる項目として ①スランプ ②細骨材率 ③打ち止め圧 ④打設速度 を因子とし、直交実験(L8)を行った。因子と水準を表-1に示す。スランプと細骨材率は、現場で使用されている範囲のものである。打ち止め圧力は図-2に示す打設口と反対側圧力とする。打設速度は実大トンネルと実験型枠でのコンクリートの流速がほぼ同じになるように設定した。

測定項目は以下の2点である。

- (1) ブリージング：打設終了1時間後、コンクリート上面の水をスポイトで吸い取り測定した。
- (2) 空隙量：ブリージング試験終了後、空隙部に珪砂を入れ表面を平らにし測定した。

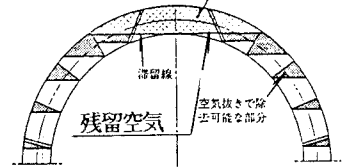


図-1 空気の残留状態

表-1 因子と水準

因子	水準1	水準2
A. スランプ (cm)	15	20
B. 細骨材率 (%)	43	48
C. 打ち止め圧力 (kgf/cm ²)	0.1	0.5
D. 打設速度 (m/h)	2	4

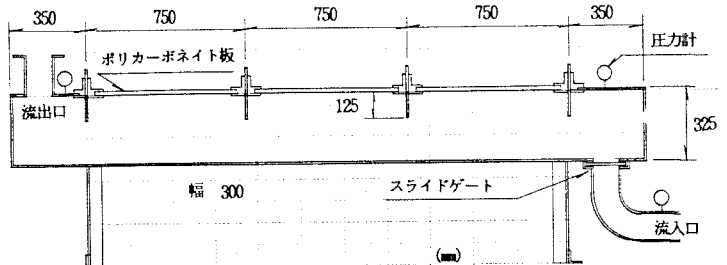


図-2 実験型枠

3. 実験結果

実験で取り上げた L8 直交実験の因子の割り付けを表-2に示す。実験の測定結果一覧を表-3に示す。

スランプの第1水準測定値は平均15.4cm、第2水準測定値は平均19.9cmであり、それぞれ 15 ± 2.5 cm、 20 ± 1.5 cmの許容値内に収まった。細骨材率も第1水準測定値は平均43.1%、第2水準測定値は平均47.7%であり、設定水準どおりであった。

4. 考察

空隙量の測定値と平均空隙高さを表-3に示す。平均空隙高さは、0.53cm~8.58cmであり、仕切板高さの4.2%~68.6%に相当する。平均空隙高さを特性値として分散分析（L8直交実験）を行った結果を表-4に示す。分散分析の結果、とり上げた因子と水準においては、細骨材率Bのみが有意水準5%で有意となり、細骨材率が空隙量に影響を及ぼしていると判断される。また、平均空隙高さの母平均の推定値を図-3に示す。残留空気は、仕切板とコンクリートの接触面、およびその付近から逃げるため、分散分析の結果はその接触面付近の気密性が細骨材率の多い程高いことを表している。同じ気密性を保つには、細骨材率の小さい方が仕切板との接触面積を多く必要とし、その結果コンクリートの充填性はあがると考えられる。

ブリージング率の測定値を表-3に示す。ブリージング率を特性値として分散分析（L8直交実験）を行った結果を表-5に示す。分散分析の結果より、スランプAと打ち止め圧力Cの交互作用A×Cが高度に有意である。この母平均の推定を図-4に示す。この結果から、ブリージング率はスランプAと打ち止め圧力Cの組み合わせにより大きく異なると判断される。ブリージング率が大きくなる条件は、スランプが20cmで打ち止め圧力が0.1kgf/cm²、またはスランプが15cmで打ち止め圧力が0.5kgf/cm²の組み合わせである。

5. あとがき

実験結果から次の成果が得られた。

- ① スランプおよび細骨材率が増加すると、コンクリートの流動性が増加しポンプ圧送はしやすくなるが、細骨材率が大きいと残留空気による空隙量が多くなる。
- ② ブリージング率はスランプと打ち止め圧力の組み合わせにより大きく影響する。

表-2 実験の割り付け

列番 実験NO	1 A	2 B	3 A×B	4 C	5 A×C	6 B×C	7 D	水準の 組み合わせ
1	1	1	1	1	1	1	1	A1 B1 C1 D1
2	1	1	1	2	2	2	2	A1 B1 C2 D2
3	1	2	2	1	1	2	2	A1 B2 C1 D2
4	1	2	2	2	2	1	1	A1 B2 C2 D1
5	2	1	2	1	2	1	2	A2 B1 C1 D2
6	2	1	2	2	1	2	1	A2 B1 C2 D1
7	2	2	1	1	2	2	1	A2 B2 C1 D1
8	2	2	1	2	1	1	2	A2 B2 C2 D2

表-3 測定結果一覧

実験 NO	スランプ (cm)	BLE 率 (%)	BLE 量 (cm)	空隙量 (%)	平均空隙高さ (cm)
1	16.3	1.14	0.063	5.7	0.84
2	15.0	3.02	0.170	3.6	0.53
3	13.7	0.94	0.042	56.8	8.41
4	17.2	4.57	0.253	15.7	2.33
5	20.5	3.77	0.197	29.3	4.35
6	18.5	1.63	0.086	27.8	4.12
7	20.5	4.36	0.199	57.9	8.58
8	20.0	1.42	0.070	44.8	6.64

BLE:ブリージング

表-4 分散分析表（空隙量）

因 子	平方和S	自由度φ	分 散V	分散比F0
A スランプ	16.76	1	16.76	5.52
B 細骨材率	32.48	1	32.48	10.70*
C 打ち止め圧力	9.16	1	9.16	3.02
e 誤 差	12.14	4	3.035	
T 総 計	70.54	7		

表-5 分散分析表（ブリージング率）

因 子	平方和S	自由度φ	分 散V	分散比F0
A スランプ	0.29	1	0.29	1.45
C 打ち止め圧力	0.02	1	0.02	--
D 打設速度	0.81	1	0.81	4.05
A×C 交互作用	13.99	1	13.99	69.95**
e 誤 差	0.60	3	0.20	
T 総 計	15.71	7		

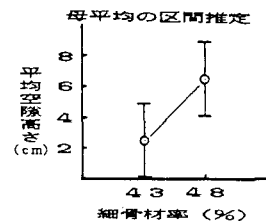


図-3 平均空隙高さの母平均の推定値

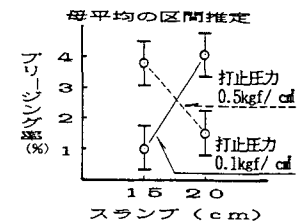


図-4 ブリージング率の母平均の推定値