

I-522

シールドトンネルの耐震性能に関するプレストレス導入効果
ー（その4） 軸方向プレストレス導入時の剛性評価に関する検討ー

機関組技術研究所 正会員 松原 勝己
同 上 同 上 脇田 和試
同 上 同 上 新井 伸夫

1. まえがき

「シールドトンネルの耐震性能に関するプレストレス導入効果（その1）～（その3）」¹⁾において、筆者らは、シールドトンネル軸方向にプレストレスを導入することの耐震対策としての有用性を、実験的ならびに解析的に明らかにしたが、本報では、先の実験結果に基づき、特に軸方向荷重ー変位関係に着目して、剛性評価方法の検討を行ったものである。これより、シールドトンネル耐震設計時の、軸方向モデル化の基礎資料にすることを目標としている。

2. 二次覆工がない場合の検討

(1) PC鋼線に作用する荷重

PC鋼線への作用荷重を推定するために、供試体全体のバネ定数を、一次覆工バネとPC鋼線のバネとの並列バネとしてモデル化した。一次覆工バネは、プレストレスがない場合の実験結果から求めたものを用い、PC鋼線のバネは、鋼線のヤング係数と有効断面積により求めた。PC鋼線への作用荷重の計算値と実験値を図-1に示す。図-1によれば、プレストレス導入荷重を超えてから急激にPC鋼線に作用する荷重が増大する様子が、計算値により良く説明されており、PC鋼線が供試体全体の剛性に、並列バネとしての働きを示していることがわかる。

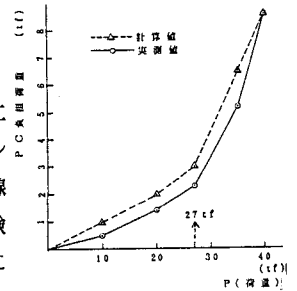


図-1 PC鋼線への作用荷重

(2) 供試体目開き量

プレストレスありの場合については、作用荷重のうちPC鋼線負担分を除外した荷重について、（プレストレス導入荷重）+（ボルト初期締付荷重）までは目開き量がないものとし、かつ、プレストレスなしの実験結果の単位荷重当り目開き量を用いた。一方、プレストレスなしの場合は、継手板を両端固定梁としてモデル化した場合と三辺固定板としてモデル化した場合

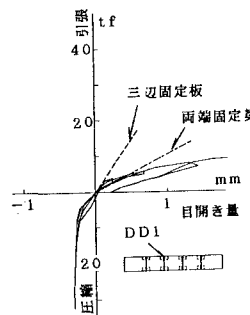


図-2(a) 供試体目開き量

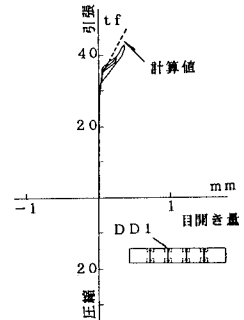


図-2(b) 供試体目開き量

により目開き量の推定を行なった。図-2、に計算値（プレストレスなし、二次覆工なし）（プレストレスあり、二次覆工なし）と実験値を示す。図-2によれば、プレストレスありの場合は、実験値と計算値が比較的良い適合を示しており、また、プレストレスなしの場合は、継手板が弾性変形をしていると考えられる荷重3t付近までの目開き量は、三辺固定板のモデル化が実験値と良い適合を示していることがわかる。

3. 二次覆工がある場合の検討

(1) 検討に用いた物性値および諸元

以下の二次覆工がある場合の検討に用いた、一次覆工、二次覆工およびPC鋼線の物性値および諸元を表-1に示す。表-1でバネ定数はすべて長さ75cm当りに対する値であり、コンクリートのヤング係数および引張強度は、別途実施した静弾性試験および割裂試験により決定したものである。

表-1 物性値および諸元

材種	一次覆工	二次覆工	PC鋼線
諸元	コンクリート	コンクリート	
ヤング係数 (kgf/cm ²)	4.4×10^5	3.1×10^5	1.94×10^6
断面積 (cm ²)	600	480	2.084
引張強度 (kgf/cm ²)	48	32	6.8% (0.7%)
バネ定数 (kgf/cm)	3.52×10^6	1.98×10^6	1.08×10^6

(2) 二次覆工ひび割れ前の引張剛性

プレストレスを導入した場合の、二次覆工ひび割れ前の剛性 K_t は、一次覆工の全断面有効とした圧縮剛性 K_g と二次覆工の剛性 K_L およびPC鋼線 K_p の並列バネで表されると仮定する。表-1より

$$K_t = K_g + K_L + K_p = 5.61 \times 10^6 \text{ kgf/cm}$$

この値は、二次覆工あり、プレストレスありの実験結果より求めた値 $6.73 \times 10^6 \text{ kgf/cm}$ を少し下回っているが、二次覆工がない場合にみられるようなプレストレス導入荷重までの引張剛性が全断面有効な圧縮剛性よりも低下するという減少はみられない。二次覆工ひび割れが生じる荷重 P_{or} は、

$$P_{or} = f_L \cdot A_L (K_g + K_L + K_p) / K_L = 43.5 \text{ tf}$$

(f_L , A_L ; 二次覆工の引張強度および断面積)

この値は、実験よりの推定値35tfをかなり下回っている。

(3) 二次覆工ひび割れ後プレストレス開放前の引張剛性

二次覆工ひび割れ後、プレストレス開放前までのモデル化として、図-3に示すように、一次覆工は全断面有効とした圧縮剛性を有し、二次覆工は、 1_j の長さに対応する継目部鉄筋バネと二次覆工コンクリートの直列バネとする。剛性 K_t は、

$$K_t = K_g + K_p + 1 / \{ 1 / (E_L A_L) + 2 l_j / (E_R A_R) \}$$

(E_L : 二次覆工ヤング係数、 $E_R A_R$: 二次覆工鉄筋軸剛性)

1_j は、二次覆工あり、プレストレスありの場合の二次覆工ひび割れ後の二次覆工鉄筋応力とクラック幅より求めた結果、 $1_j = 13.4 \text{ cm}$ となった。また K_t は、 $K_t = 3.83 \times 10^6 \text{ kgf/cm}$ であった。

プレストレス開放荷重 P_o は、

$$P_o = \sigma_p \cdot A_g \cdot K_t / K_g = 31.6 \text{ tf}$$

(σ_p : プレストレス導入応力)

この値 P_o は、実験から推定した値30.0tfとほぼ等しい。

(4) プレストレス開放後の引張剛性

プレストレス開放後のモデル化として、図-4に示すものとする。ここでは、図-4のPC鋼線のバネを除いたモデルにより、プレストレスなし、二次覆工ありのケースで引張剛性を別途求めたが、その値を用いて、プレストレスありの場合の剛性を評価した。この時、全体剛性 K_t は、 $K_t = 3.88 \times 10^6 \text{ kgf/cm}$ であった。

以上の結果を実験結果と重ねて示したのが図-5である。

図-5によれば、二次覆工鉄筋降伏までの引張剛性について、実験値と計算値が良い一致を示している。

4. あとがき

本報では、二次覆工のない場合とある場合について、先に実施した実験結果に基づき、シールドセグメントモデルの軸引張剛性の評価を行った。その結果、二次覆工のない場合で、PC鋼線が並列バネとしての挙動を示していること、継ぎ手板を三辺固定板としてモデル化することにより弾性変形量を推定しうることを示した。また、二次覆工のある場合で、二次覆工ひび割れ前、ひび割れ後およびプレストレス解放後に分けて、それぞれの妥当な軸剛性評価のためのモデル化を提示し得た。今後、これらの結果を応答変位法等への地震時応答解析に活用してゆく予定である。

(参考文献) 1) 辻田満、脇田和試、三原正哉、松原勝己、新井伸夫、シールドトンネルの耐震性能に関するプレストレス導入効果(その1)～(その3)、第43回、第44回土木学会年次学術講演会第1部門、1988年10月および1989年10月

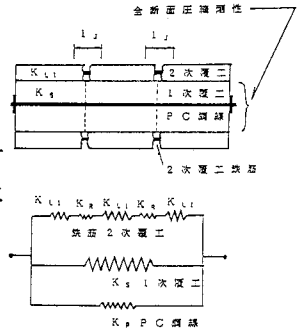


図-3 二次覆工ひび割れ後

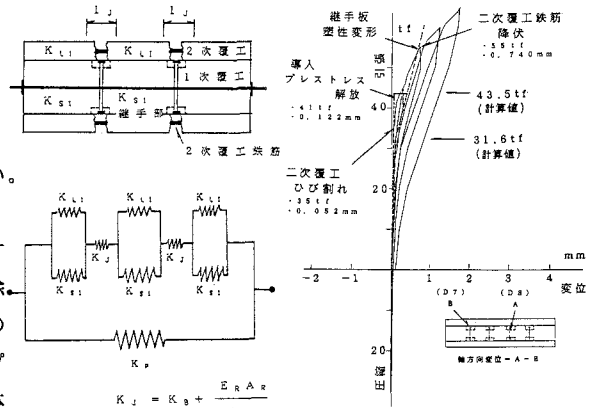


図-5 荷重-変位関係 (プレストレスあり、二次覆工あり)

図-4 プレストレス開放後