

I-594

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

－ 軸方向交番載荷試験結果の解析と応答変位法による解析 －

機関組技術研究所 正会員 松原勝己

同上 正会員 浦野和彦

1. まえがき

シールドトンネルの軸方向の耐震性能を向上させるために、セグメント間にゴムを介在させ、PC鋼棒を用いて1リングごとにプレストレスを導入する方法を検討している。筆者らは、セグメントリング間にゴムを介在させたRCセグメント模型による軸方向交番載荷試験を実施し、本手法の耐震効果を実証した¹⁾。本報では、試験結果に基づき簡易な軸剛性評価モデルを設定し、試験時の供試体間目開き量、PC鋼棒応力、ゴム圧縮応力と比較することによって、モデルの妥当性を検討した。さらに、本報で提案した軸剛性モデルを用いた応答変位法により、地震時におけるシールドトンネルの軸方向の解析を実施し、トンネル諸元、PC鋼棒およびゴムの断面諸元、地震特性等が地震時応力に及ぼす影響を検討した。

2. 試験結果の分析

図-1に実験に用いたRCセグメント供試体の形状寸法を示す。RCセグメント供試体は、想定した実大シールドトンネルの2リング間から一次覆工の一部を切り出したものである。プレストレス導入時に、導入力が P_0 の時点でセグメント端面が面接触し、 P_{pc} までプレストレスを導入したものとする。この時セグメント端面接触時および非接触時の軸剛性モデルとして、図-2に示すものを考えた。すなわち、端面接触時はセグメントとPC鋼棒の並列バネとして、端面非接触時にはセグメントとゴムを直列につないだものにPC鋼棒バネを並列に組み合わせたモデルとした。表-1に、実験材料の諸元を示す。図-3から5に、試験時の供試体目開き量、PC鋼棒応力、ゴム圧縮応力を示す。さらに、図中に図-2に示したモデルによる計算値を破線で示したが、実験値と良い一致を示しており、提案した軸剛性モデルの妥当性がうかがえる。

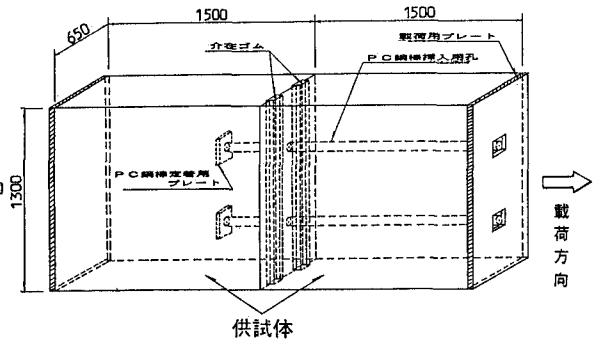


図-1 実験に用いたRCセグメント供試体

表-1 実験材料の諸元

実験材料	諸元	備考
ゴム	圧縮方向厚さ (m)	3.85×10^{-3}
	断面積 (m^2)	0.208
	弾性係数 (tf/m^2)	532 プレストレス導入時のゴム応力と変形の関係より推定
PC鋼棒	長さ (m)	2.249
	断面積 (m^2)	1.062×10^{-3} PC鋼棒2本当り
	弾性係数 (tf/m^2)	2.075×10^7 別途引張試験を実施して決定
コンクリート	軸方向長さ (m)	3.000
	断面積 (m^2)	0.845
	弾性係数 (tf/m^2)	3.12×10^8 別途弾性係数試験を実施して決定

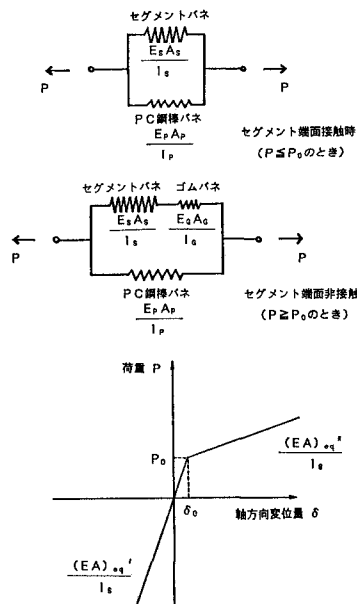


図-2 軸剛性モデル

3. 応答変位法を用いた解析

2で述べた軸力-軸変位の関係を用いて応答変位法によりシールドトンネルに発生する軸方向応力を算定した。解析ケースは、トンネル諸元、PC鋼棒・ゴム諸元および地盤物性等を変化させた表-2に示すものとした。入力変位の算定に用いたスペクトルは、L2地震動に相当するものを用いた²⁾。表-3に解析結果を示す。表-3より、①PC鋼棒応力はすべてのケースで降状応力(10500kgf/cm²)以内に収まっており安全性が確保されている、②ゴム圧に関してはすべてのケースで大きな圧縮応力を保持しており、大地震時の高止水性が期待される、③継ぎ目目開き量に対しては、トンネル口径と覆工厚の影響が大きいこと、またゴム応力に対しては、ゴム厚が大きい方がゴム圧縮応力の低減が小さく有利であること、PC鋼棒応力に対しては、ゴム断面積が小さい方がプレストレス導入力が小さくなり有利であること、がうかがえる。

4. あとがき

今後は、応答変位法によるパラメータスタディをさらに進めて、設計に利用できる図表等にまとめてゆく予定である。なお、本研究は、建設省総合プロジェクト「地下空間の建設技術の開発(地下構造物の耐震設計技術の開発)」に関する共同研究の一環として実施しているものである。

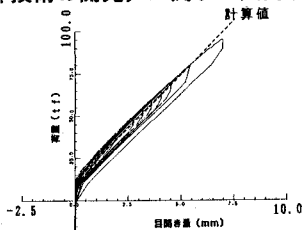


図-3 荷重と目開き量の関係
(実験値と計算値の比較)

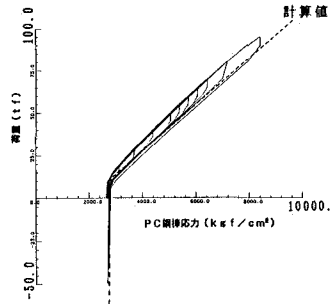


図-4 荷重とPC鋼棒応力の関係
(実験値と計算値の関係)

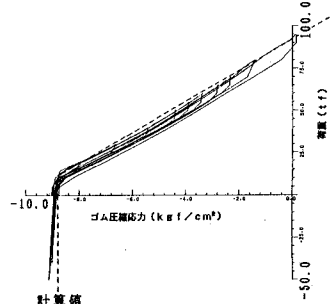


図-5 荷重とゴム圧縮応力の関係
(実験値と計算値の比較)

表-2 解析ケース

No	1	2	3	4	5	6	7	8
口径 D (m)	16.0	16.0	8.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
覆工厚 Ds (m)	0.8	0.8	0.3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
深度 Z (m)	25.0	40.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
As/A _s	1.25 × 10 ⁻³	1.25 × 10 ⁻³	1.25 × 10 ⁻³	1.25 × 10 ⁻³	1.25 × 10 ⁻³	1.25 × 10 ⁻³	1.25 × 10 ⁻³	1.25 × 10 ⁻³
Aa/A _s	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25
Ppc/Ppc0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5	1.2	1.2
ゴム厚 Ga (mm)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	26.0
せん断変位 Vs (mm/s)	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	100.0	200.0
単位体積重 rs (t/m³)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.6	1.8
備考	基本ケース	深度変更	口径変更	PC鋼棒断面積変更	ゴム断面積変更	プレストレス導入力変更	地盤物性変更	ゴム厚変更

表-3 解析結果

(注) 表中において引張側を正とする。

No	1	2	3	4	5	6	7	8
プレストレス導入力 Ppc (tf)	1219.4	1219.4	171.5	1219.4	2439.8	1524.3	1219.4	1219.4
最大圧縮軸力 Pc (tf)	-23504.0	-10208.0	-8925.1	-23552.0	-23351.0	-23338.0	-16412.0	-23484.0
最大引張軸力 Pa (tf)	1081.1	583.9	183.9	1631.4	1385.1	1378.0	970.5	1133.0
最大圧縮ひずみ εc (×10 ⁻⁴)	-1.854	-0.849	-5.276	-1.824	-1.941	-1.940	1.384	-1.852
最大引張ひずみ εa (×10 ⁻⁴)	6.777	2.948	8.524	5.989	8.577	6.741	5.928	6.899
最大圧縮時応力 σc ¹ = P _c /A _s (tf/m²)	-815.3	-267.2	-1611.4	-611.3	-811.3	-610.9	-429.8	-514.8
最大引張時応力 σa ¹ = P _a /A _s (tf/m²)	28.3	15.3	34.2	42.7	36.3	36.1	25.4	29.7
最大圧縮時 PC鋼棒応力 σpc ¹ (tf/m²)	21031.0	23579.0	13371.0	8332.7	46598.0	27447.0	22390.0	21035.0
最大引張時 PC鋼棒応力 σpa ¹ (tf/m²)	41190.0	32333.0	45189.0	28529.0	56238.0	47462.0	39198.0	40950.0
最大圧縮時 ゴム応力 σc ² (tf/m²)	-106.4	-108.4	-106.4	-106.4	-106.4	-106.4	-106.4	-106.4
最大引張時 ゴム応力 σa ² (tf/m²)	-92.4	-100.3	-88.8	-94.1	-92.9	-92.5	-94.2	-86.0
継ぎ目目開き量 Gs (mm)	1.02	0.442	1.28	0.895	0.987	1.011	0.899	1.004

参考文献 1) 脇田、松原、平沢、新井; 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、土木学会年講第一部門 1990 2) 荒川、川島; 動的解析における入力地震動の設定法、土木技術資料 Vol.26, No.3, 1984