

先受けのシェル構造体としての挙動評価

鹿島技術研究所 正会員 ○伊達健介 北本幸義 山本拓治
東京工業大学 理工学研究科 正会員 太田秀樹

1 はじめに

先受け工の重要性が増加している状況のもと、筆者らは改良ゾーンの厚さによるシェル構造体としての補強効果に着目し、長尺鋼管先受け工法（以下、長尺工法）よりもコストダウンが可能でかつ同等以上の補強効果を有する中尺鋼管先受け工法¹⁾を開発してきた。これまでに、模型実験や実施工への適用により中尺鋼管先受け工法（以下、中尺工法）の優位性、ならびに円筒シェル理論の妥当性を確認してきた²⁾³⁾。今回は、シェル理論の妥当性を変形特性の視点から検証し、また、その適用範囲についても検討したので、これらの概要について報告する。

2 円筒シェル理論

先受けの変形特性の評価手法として検討を進めてきた円筒シェル理論によれば、径方向等分布荷重 p が長い円筒シェルのある幅 l に沿って分布するとき、トンネル縦断方向のモーメント M_x は、 $0 < x < l, x > l$ それぞれの範囲において、以下の式で表される。

$$M_x = p \{ e^{-\beta x} \sin \beta x - e^{-\beta(l-x)} \sin \beta(l-x) \} / (4\beta^2) \quad \cdots (1)$$

$$M_x = p \{ e^{-\beta x} \sin \beta x - e^{-\beta(x-l)} \sin \beta(x-l) \} / (4\beta^2) \quad \cdots (2)$$

このとき、 $\beta = \{ 3(1-\nu^2)/r^2 t^2 \}^{0.25}$ 、 r ：円筒シェルの半径、 t ：その板厚、 ν ：ポアソン比

またトンネル周方向について、軸力 N_ψ は以下の式で表される。

$$N_\psi = E t \delta_x / r \quad \cdots (3)$$

このとき、 $\delta_x = p r^2 \{ 2e^{-\beta x} \cos \beta x - e^{-\beta(l-x)} \cos \beta(l-x) \} / (2Et)$ 、 E ：弾性係数

3 遠心模型実験

(1) 実験概要

図-1 にトンネル掘削実験装置の概要図を示す。

改良体および地盤物性については図-1 に示すとおりである。なお、上半掘削に伴う改良体模型の変形特性を検討するため、トンネル軸方向および周方向について図-2 に示すように、ひずみゲージを設置している。

(2) 実験ケース

表-1 に実験ケースを示す。まず、先受け厚さ t については、実施工の仕様をもとに、長尺(Case1,2)、中尺(Case3)それぞれについて、 $t=3\text{mm}, 7\text{mm}$ とした。また、予めトンネル軸方向に切込みを入れシェル形成度を低下させ、その影響度合いを評価するケースとして Case2 を設定した。切込み幅は 1mm 、切込み本数は 16 本であり、横断方向で評価すると改良幅と切込み幅の比は約 10 である。先受け残長については、長尺工法および中尺工法において最も不安定な次鋼管打設直前をモデル化することとし、そのときの一般的な先受け残長(3.5m)をもとに 35mm を、シェル化範囲については先受け厚さの影響をより正しく評価するため 180° を基本値とした。

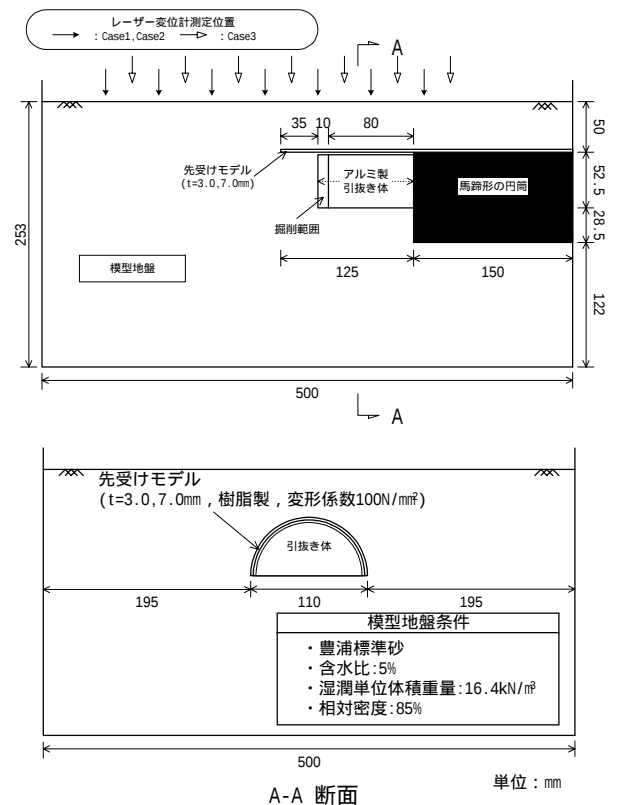


図-1 トンネル掘削実験装置概要図

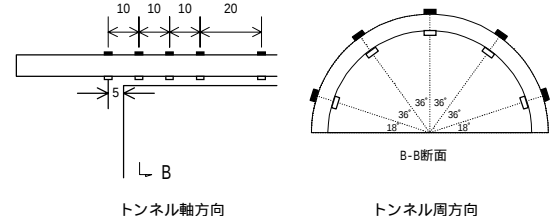


図-2 ひずみゲージ設置位置

キーワード：先受け シェル理論 遠心模型実験

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL 0424-89-7081 FAX 0424-89-7083

表 - 1 遠心模型実験ケース

ケース	先受け 厚さ	先受け 残長*	先受け 設置範囲	トンネル横断面模式図
Case1 (標準)	$t=3.0\text{mm}$	35mm	180°	
Case2				
Case3	$t=7.0\text{mm}$			

* 次鋼管打設時に切羽奥に残置している鋼管長さ

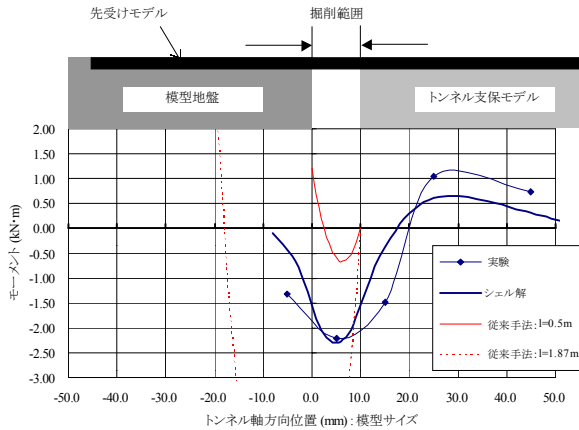


図 - 3 トンネル軸方向のモーメント分布

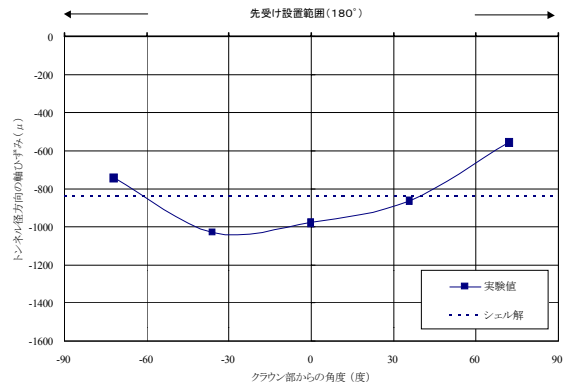


図 - 4 トンネル周方向の軸ひずみ分布

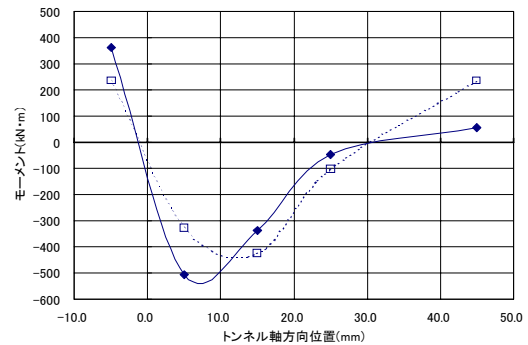


図 - 5 トンネル軸方向のひずみ分布

(3) 実験結果

図—3、図-4にCase3におけるトンネル縦断方向のモーメント及びトンネル周方向の軸ひずみに関する、実験値及び計算値を示す。実験値は50Gの遠心場で0～10mm掘削したときのモーメント増分であり、計算値は前者が(1),(2)式を、後者が(3)式をもとに計算した結果である。算定は1G場に換算して行い、各設定条件のうち、径方向等分布荷重 p についてはクラウン部における全土被り荷重を採用し、載荷範囲 l については1掘削長である0.5m(模型寸法:10mm)を採用した。ポアソン比については要素試験結果に基づき0.49とした。

また、図—3中には、先受けの設計計算手法として一般的に用いられる梁構造解析(一次元的評価)による検討結果もあわせて記している。梁長さについては、円筒シェル理論による算定時に設定した載荷範囲に一致させるケース(梁長さ0.5m)および通常の設計に用いられるケース(梁長さ1.87m)の2ケース設定した。同図から、梁構造解析では梁長さの設定により大きく値が変化し、また実験値を表現するのが困難であるのに対し、シェル理論をもとにした計算結果は実験結果に非常に一致していることがわかる。図-4に関しても実験値は脚部に近づくにつれひずみが小さくなってはいるものの、ほぼ解析値に一致しており、周方向に均等荷重を受けるシェル構造体の挙動に近いと考えられる。

図-5に、切込みのない場合(case1)とある場合(case2)について、トンネル軸方向のひずみ分布を示す。同図から、切込みの有無にかかわらず、ほぼ同程度のひずみを生じていることがわかり、同実験で設定した切込み条件においては、シェルとしての機能を果たしているものと考えられる。

4. まとめ

先受けが一体化したシェル状に180度の範囲に施工された場合、径方向に均等荷重を受けるシェル構造体としての変形特性を示すこと、また今回の実験条件では、改良体部と切込み部の比が10程度の改良体ではシェル構造体としての機能を有していることが確認された。今後、脚部条件がシェル理論に与える影響、土被りや地質に応じた鋼管の最適ピッチ、最適改良径の設定方法などについて研究を進めていきたい。

参考文献 1) 山本拓治, 北本幸義, 伊達健介, 岡本道孝: 中尺鋼管による先受け工法の適用結果, 第9回トンネル工学研究報告会, 1999 2) 北本幸義, 伊達健介, 山本拓治, 日比谷啓介, 太田秀樹: トンネルの先受け効果に関する簡易評価手法, 第35回地盤工学研究発表会, 2000. 3) 伊達健介, 北本幸義, 山本拓治, 太田秀樹: トンネルの中尺鋼管先受け工法の有効性評価, 第36回地盤工学研究発表会, 2001.