

大成建設	(株)	正会員	西岡 巖
成和コンサル	(株)	正会員	松浦一之
大成建設	(株)	正会員	金子研一
大成建設	(株)	正会員	杉籐哲也

1. はじめに

近年、シールド工法を用いたトンネル構築の中でも、特に高速施工やコストダウンを可能とする覆工技術に対する需要が高まってきた。今回発表するCONEX-SYSTEMとは、上記の需要を満たす新しい覆工技術であり、セグメント（基本的には、等分割台形セグメント）を用いて、掘進と同時にセグメントを組み立てられることが可能であることが大きな特徴である。継手部分の構造はボルトレスタイプであり、リング継手はDOWEL、セグメント継手はGUIDANCE-RODを用いる。ここでは、この特殊な継手挙動を示すCONEX-SYSTEMのセグメントの設計について、基本的な考え方を記述する。

2. 解析モデルとCONEX-SYSTEMの継手のバネ値

2-1. 解析モデル

解析モデルは、千鳥組による添接効果を考慮した骨組解析モデルとし、セグメント本体を梁、セグメント継手を回転バネ(K_θ)、リング継手をせん断バネ(K_s)、また、地盤の抵抗土圧としては、地盤反力バネとしてモデル化を行ない構造系に組み入れることにした。このモデルは、通常『梁バネモデル』図-1と呼ばれており、従来の慣用計算法等に比べて実際の挙動をより正確に表現し、かつ継手部の断面力を評価できることから、特に大断面シールドにおいて主流となっている解析方法である。

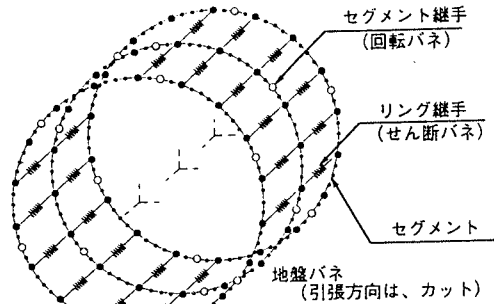


図-1. 梁バネモデル図

2-2. CONEX-SYSTEMの継手のバネ値

1) リング継手のせん断バネ値

CONEX-SYSTEMのリング継手に用いられるDOWELの変形挙動を把握するために継手せん断試験を行った¹⁾。その結果を図-2に示す。実験の結果として初期変形の範囲（せん断力9.0 tf/本、変位量5.5 mm）は、弾性的に挙動した。そこで、DOWEL 1本当たりのせん断バネ定数は、初期勾配を用いて1600 (tf/m/本)と算定し、この値を接線方向および法線方向のせん断バネ値として評価した。

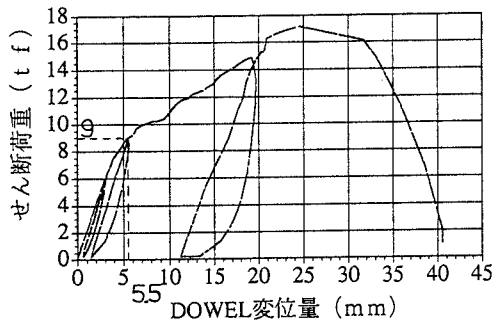


図-2. 継手せん断試験結果

2) セグメント継手の回転バネ値

セグメント継手の回転挙動を把握するために一定の軸力を与えた状態にし、曲げモーメントを増加させる方法で継手曲げ試験を行った。その結果、継手部の軸力が曲げモーメントに対して卓越した状態では、大きな曲げ剛性（回転バネ値）を有するが、曲げモーメントが増加するに伴って急激に剛性が弱まり、偏心量が部材端部に近づいた状態で曲げ剛性が極めて小さくなった。（軸力40 tfの実験結果を図-3に示す。）この挙動は、図-4（1）に示すように偏心量が核内（全断面圧縮状態）の時には強い曲げ剛性を有するが、図-4（2）に示すように偏心量が核外となると時には急激に剛性が低下するコンクリートの突き合わせ部分の応力状態より説明できる。また、この応力状態を定式化した理論解（式-1、2）と実験値とがよく一致した。そこでセグメントの設計では、理論解の回転バネ値の接線勾配を図-6に示す直線で近似し、継手部の断面力の変化に伴って変化する回転バネ値を断面力計算に忠実に反映させることにした。

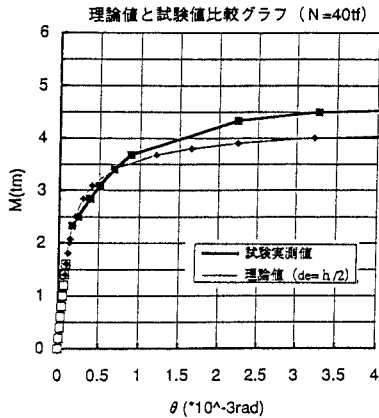


図-3 継手曲げ試験結果

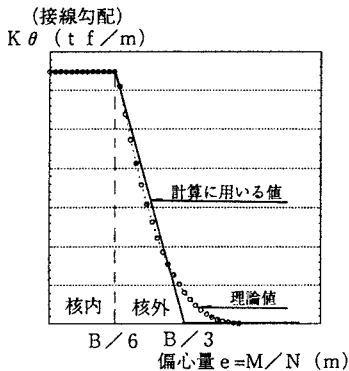


図-5 $K\theta \sim e$ 関係

3. 荷重モデル

荷重モデルはシールド完成時を対象とし、既存の設計手法と同様に組立時（自重載荷時計算による荷重分）および完成時（自重載荷時計算結果＋土水圧載荷時計算による荷重増分）で各々解析を行い、それぞれのケースを重ね合わせることにする。また、非線形に変化するセグメント継手の挙動を、より正確に表現する為に作用荷重を細かく分割し、それぞれのステップの重ね合わせにて発生断面力を算出するステップ解析を行った。各ステップでは、それぞれの継手部の発生断面力に対応する回転バネ値を用いて解析を行った。

4. まとめ

本文では、CONEX-SYSTEMで用いるセグメントの設計において、現実の挙動（非線形性）を評価した解析手法を提案した。また、添接曲げ試験及びリング載荷試験を行い、それぞれこの手法を用いた解析結果と実験結果を比較したところ、挙動及び数値が共によく一致した。

今後は、更に詳細な検討を重ね、より現実の挙動を評価した設計手法の確立を目指す予定である。

<参考文献>

- 1) 杉籾, 萩原: CONEX-SYSTEMの継手要素実験, 土木学会第49回年講(Ⅲ-624), 1994. 9

セグメント継手の回転ばね定数の算定 (コンクリート突き合わせの場合)

- (1) $0 < e = M/N \leq h/6$: 外力偏心量が核内にある範囲
- (2) $h/6 < e = M/N < h/2$: 外力偏心量が核外にある範囲

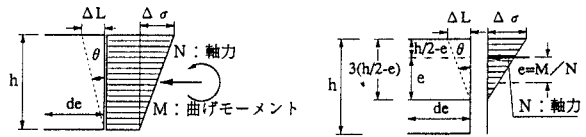


図-4 継手部の応力状態

核内の場合(全断面圧縮状態)

$$\Delta \sigma = \frac{12M}{b h^2}$$

$$\theta = \Delta L \times 2 / h$$

$$= \Delta \sigma \times 2 / E \times de / h$$

$$= 24 \cdot M \cdot de / b^3 \cdot E \cdot h \quad (\text{式-1})$$

核外の場合

$$\Delta \sigma = 2N / \{3(h/2 - e)b\}$$

$$\theta = \Delta L \times 2 / \{3(h/2 - e)\}$$

$$= \Delta \sigma \times 2 / E \times de / \{3(h/2 - e)\}$$

$$= \frac{4 \cdot N \cdot de}{9(h/2 - M/N)^2 \cdot b \cdot E} \quad (\text{式-2})$$

ΔL : (1) では、上端と下端の歪み量の差 (m)

(2) では、上端の歪量 (m)

$\Delta \sigma$: (1) では、上端と下端の圧縮応力度の差 (tf/m²)

(2) では、上端の圧縮応力度 (tf/m²)

N: 作用荷重 (tf)

h: 桁高 (m)

M: 作用曲げモーメント (tf・m)

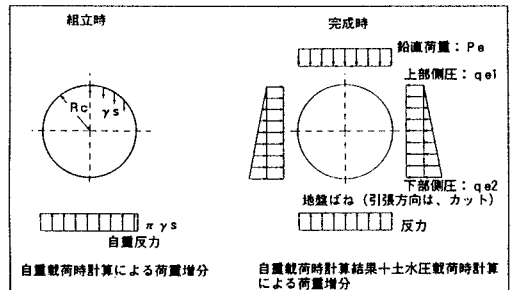
θ : 目開き量 (RAD)

e: 偏心量 (m)

b: セグメント幅 (m)

de: 圧縮応力の影響範囲 (m)
= h/2 (仮定)

E: ヤング係数 (tf/m²)



γ_s : 単位長さ当たり重量
 R_c : セグメント固心半径