

早稲田大学 学生会員 杉山 泰三

早稲田大学 学生会員 磯谷 篤実

早稲田大学 正 会 員 小 泉 淳

1.はじめに

シールドトンネルのセグメント幅は、施工性、防水性の向上および継手金具の削減などの観点から、従来の 90~100cm から 120~150cm に拡大する傾向にある。セグメントを千鳥組にした場合、その添接効果に応じてリング継ぎボルトにせん断力が生じるが、セグメント幅の拡大に伴い、このせん断力によって付加されるセグメント本体の曲げ応力度の増分が継手付近に集中する。これまでの研究では、模型実験および鉄筋をはりで評価した 3 次元線形弾性有限要素解析のいずれの場合においても、供試体厚さに対する供試体幅の比（以下 b/h と記す）が約 5.29~6.08 の範囲の供試体では、その傾向が顕著に見られることが確認されている。

1)

本研究は筆者らが昨年度までに行った模型実験（幅方向応力分布試験）を基に 3 次元非線形有限要素解析を行い、セグメント幅の拡大とセグメント幅方向の付加的な曲げ応力度との関係を調べたものである。

2.実験概要

模型供試体は、標準コンクリート系セグメント C65（幅 900mm、厚さ 300mm）をモデル化したものであり、縮尺を約 1/3 にした幅 300mm の供試体を基準として、幅を 300~900mm の範囲で変化させている。载荷はリング継ぎボルトにせん断力を作用させて行い、図 1 に示すようにひずみおよび鉛直方向変位を計測した。なお、表 1 に使用した材料の特性を示す。

表 1 材料特性

コンクリート	
圧縮強度 (kgf/cm ²)	435.0
ポアソン比	0.189
曲げ強度 (kgf/cm ²)	35.79
ヤング係数 (kgf/cm ²)	2.52×10^5
ひび割れ発生応力 (kgf/cm ²)	35.79
ひずみ軟化係数 (kgf/cm ²)	1.57×10^4
主鉄筋およびアンカー筋	
材料	SD295A
ヤング係数 (kgf/cm ²)	1.65×10^5
降伏応力 (kgf/cm ²)	4002

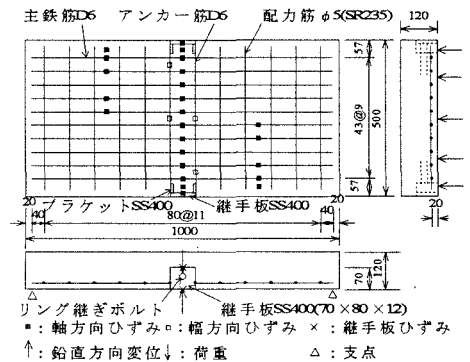


図 1 模型供試体の形状と変位およびひずみの計測位置（幅 500mm）（単位：mm）

3.解析方法

本研究では、解析に鉄筋コンクリート理論（RC 理論）および 3 次元非線形有限要素法を用いた。RC 理論による解析では、供試体が幅方向で様な断面であると、リング継ぎボルトに作用させる集中荷重をこれと等価で一様な線荷重に置き換え、ひび割れ発生前は全断面有効とし、ひび割れ発生後は引張域のコンクリートの応力を無視した。一方、3 次元非線形有限要素解析では、

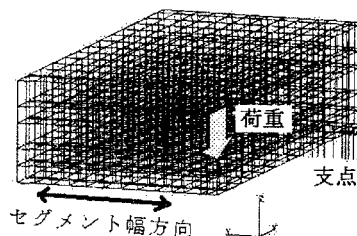


図 2 FEM 解析モデル

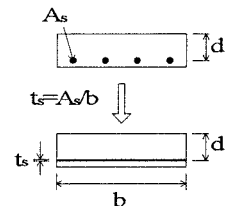


図 3 鉄筋のモデル化

キーワード: シールドトンネル, RC セグメント, 添接効果, 3 次元非線形 FEM, セグメント幅, 曲げ応力度分布
連絡先: 〒169-0072 東京都新宿区大久保 3-4-1 電話(03)3204-1894 FAX(03)3204-1946 早稲田大学小泉研究室

供試体の形状および対称性を考慮して図 2 に示すような模型供試体の 1/4 モデルを用いた。コンクリート、継手板およびブラケットは 20 節点立体要素を、主鉄筋、配力筋およびアンカー筋は 20 節点リバー要素を用いて評価した。この 20 節点リバー要素には、軸方向に剛性を有する補強材が入っており、図 3 に示すように要素の高さ方向に等価な厚さの層として表現される。また、コンクリートと継手板およびブラケットとの境界では節点を共有させた。

ひび割れの影響は、主引張応力が引張強度に達したら主引張応力と直交する方向の剛性をゼロに修正することにより、ひび割れコンクリートを直交異方性体として扱う分布ひび割れモデルを導入して評価した。

4.実験結果と解析結果との比較
および考察

幅 300mm,750mm の供試体を例に、スパン中央断面における幅方向の曲げ応力度分布を図 4 に示す。実験値は、最小 2 乗法を用いて荷重代表値に換算した値である。コンクリート圧縮縁の曲げ応力度の実験値は、ひび割れの影響を直接受けないため、ひび割れ発生前後いずれの場合も両供試体とも継手位置で最大となる。その最大値はひび割れ発生前では全断面を有効とした RC 理論値に対して、幅 300mm の供試体では 107%，幅 750mm の供試体では 150%となっており、幅 750mm の供試体の集中の度合いが大きい。FEM による解析値も実験値と同様な傾向を示しているが、ひび割れ発生後は、実験値および RC 理論値よりも全般的に大きい値を示している。これは実際には継手がコンクリートから抜け落ちるという形で破壊するのに対し、FEM では継手とコンクリートを完全に付着させていることに起因するものと思われる。

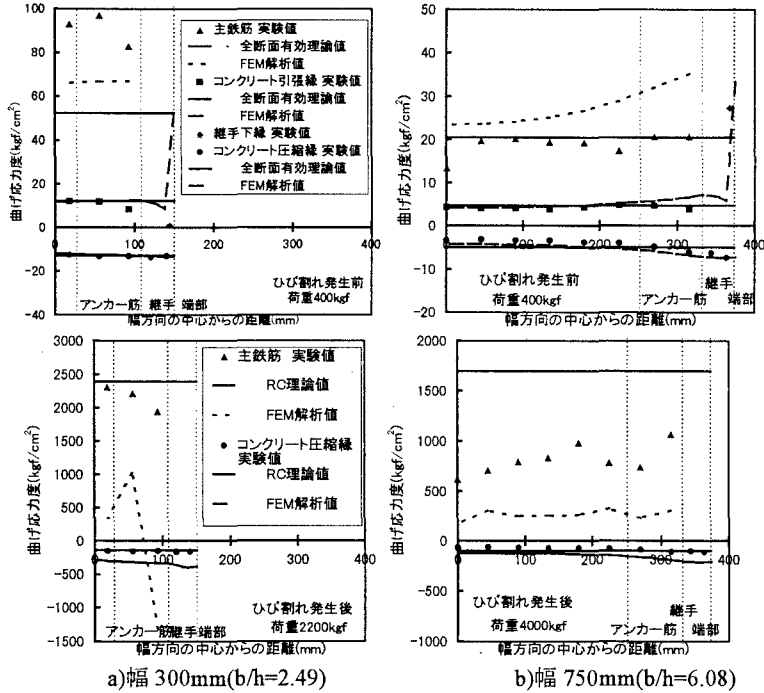


図 4 幅方向の曲げ応力度分布 (スパン中央断面)

5.おわりに

FEM 解析値は、弾性範囲内では実験値をほぼ表現することができたが、ひび割れ発生後は断面によっては実験値と違う値を示した。

非線形解析ではモデル化の際に評価しにくい部分が出てくるので、実際の挙動を忠実に再現するのはむずかしい。しかし、鉄筋をリバー要素で表現すれば、はりで表現するよりも鉄筋量の増減や配筋を容易に設定できるので、セグメント幅の拡大とともに応力の集中が見られる継手近傍に鉄筋量を増やして配筋するなどの解析には有効である。

今後、今回行った非線形 FEM 解析結果も含めて、セグメント幅の拡大と曲げ応力度の分布との関係についてより総合的に検討を行う予定である。

【参考文献】

¹⁾磯谷，中筋，小泉，村上，RC 平板形セグメントのセグメント幅に関する研究，土木学会第 51 回年次学術講演会概要集，Ⅲ-B125，1996，他