

III-5

密閉式合成セグメントの曲げ耐荷機構に関する研究

東 急 建 設（株） 正 員 石岡博之
日本国土開発（株） 正 員 石田智朗
早 稲 田 大 学 正 員 小 泉 淳
正 員 村上博智

1. はじめに

最近、大深度地下の有効利用が検討され、シールド工法による大深度、大断面トンネルの建設が注目されている。このようなトンネルに用いるセグメントとして、掘削土量を最小限にするため桁高を小さくできる密閉式合成セグメントが注目されている。密閉式合成セグメントは、主桁、継手、スキンプレートからなる6面体の鋼殻内部にコンクリートを充填して一体化したコンポジットセグメントで、その構造から密閉効果が期待できると考えられるため、特に力学的な優位性が強調されているが、耐荷機構はほとんど明確にされていないのが現状である。

本報告は、密閉式合成セグメントを直線梁にモデル化した供試体を作製し、これに2点曲げ载荷を行い、発生した変形量や応力度をもとに、RC理論、FEMを用いた解析を行い、その力学的特性を解明しようとするものである。昨年度までの実験¹⁾²⁾³⁾に加えて、本年度は幅を変えた供試体を用いて、その影響を検討した。

2. 供試体曲げ载荷試験

供試体は、これまで幅を一定にして、鋼殻の構成板厚やジベル、継手プレートの有無が実験結果にどのような影響を与えるかを見てきたが、今回は供試体をより実物に近づける目的で、表1に示すとおり供試体の幅を大きくし、その幅に対して板厚を変えたものを2種類各2体作成した。

表1 供試体ケース

	基本CASE	CASE12	CASE13
セグメント幅(mm)	200	500	500
スキンプレート(mm)	4.5	4.5	3.2
主桁プレート(mm)	4.5	4.5	6.0
継手プレート(mm)	4.5	4.5	6.0

なお、今回は鋼殻内部にはモルタル系グラウトを充填している。

曲げ試験の载荷方法は図1に示す通りで、荷重500kgfピッチで破壊まで载荷した。なお、各荷重段階毎に、スパン中央と载荷点下の計4点でたわみ測定を、供試体の両端面上の計8点で変位測定を行い、また、スパン中央、载荷点と支点の中央断面の34点、両端面上の20点、計54点においてひずみの測定を行った。

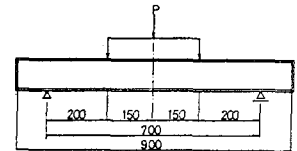


図1 载荷状況図

3. 解析

解析は、はじめにRC理論を用いて、鋼殻のスキンプレートと主桁プレートをRC梁の主鉄筋とみなした場合について検討した。なお、内部のモルタルは、クラック発生前は全断面有効、発生後は引張断面を無視して計算を行った。

次に、3次元有限要素法プログラムであるADINA (Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis)を使用してFEM解析を行った。供試体は図2に示すように、3519節点、2816要素に分割して考えており、荷重は5tfを想定している。なお、解析に用いた物性値は表2に示すとおりである。

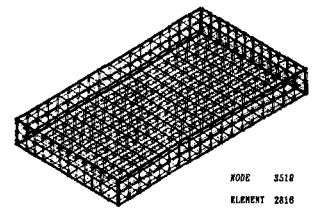


図2 要素分割図

表2 解析に用いた物性値

	スチール	モルタル
単位体積重量(t/m^3)	7.85	2.35
変形係数(kgf/cm^2)	2.1E6	2.1E5
ポアソン比	0.300	0.212

4. 実験結果と解析結果との比較および考察

まず、実験結果とRC理論による解析結果との比較を行う。図3は荷重とスパン中央のたわみとの関係を示した一例である。図中の点は実験値を、実線はクラック発生前後の解析値をそれぞれ表している。供試体には荷重10tf付近でクラックが発生し、荷重50tf前後から鋼殻が序々に降伏した。この挙動は基本的にはRC梁と同様な挙動を示していると思われるが、実験値は解析値より相当大きな値を示している。また図4は荷重とスパン中央の圧縮側および引張側ひず

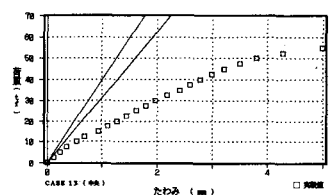


図3 スパン中央断面のたわみ

みとの関係を示した一例であるが、実験値と解析値を比較すると両者は概ね一致している。

図5は、クラック発生前後のスパン中央のひずみ分布を示した一例である。クラック発生前の中立軸位置は、断面中央より上に位置し、発生後には中立軸がさらに上に移動して

いる。また、継手プレート上のひずみ分布の測定結果から、クラック発生後においては、継手プレートが内部のモルタルの変形を拘束しているのが確認できた。このことから、鋼殻はモルタルの変形を拘束する一方、これに見合う引張力受ける、いわゆる密閉効果が現われているものと思われる。

次に、実験結果を弾性範囲内においてクラック発生前後に分けて最小自乗を行い、それぞれ荷重 5tf と 25tf に換算したうえ、測定されたひずみからは曲げモーメントと軸力を算出して、たわみ・クラック発生荷重・破壊荷重と共にまとめたのが表3である。この表から実験値と解析値を比較すると、曲げモーメントおよびクラック発生荷重は両者がほぼ一致しているが、破壊荷重は実験値が解析値の約2倍の値を示す一方、たわみはクラック発生前後において約2倍の値を示していることから、供試体は耐力はあるが剛性は高くないという、これまで通りの結果が得られた。

次に、実験結果と FEMによる解析値との比較を行う。図6は一例としてCASE13に対する解析結果を示したものである。また、表4は中央のたわみと圧縮縁および引張縁のひずみについて、実験値と FEMおよびRC理論による解析値とをまとめたものである。

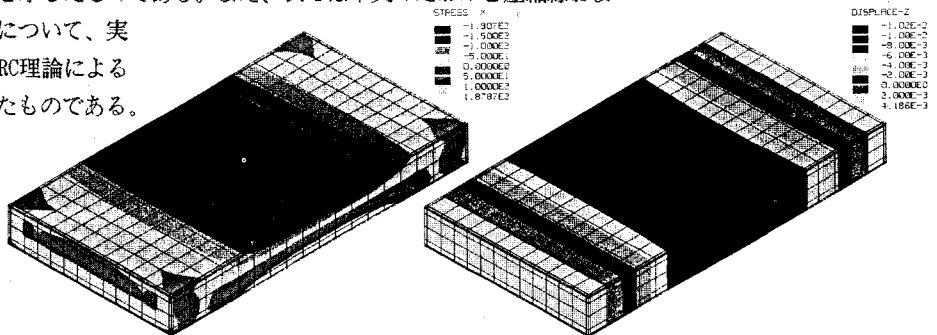


図6 変位・応力分布図

FEMによる解析値は、RC理論による解析値と同様に実験値に比べてたわみが小さいが、ひずみに関しては一致しており、RC理論によるものよりも実験値を良く説明していることがわかる。

5. おわりに

これまでの一連の研究によれば、密閉式合成セグメントは耐力は高いが剛性は高くないため、その設計に際して十分な配慮が必要であるといえそうである。また、その特長が密閉効果にあるとすれば、これがRC理論による設計結果にどの程度の影響を与えるかを明らかにすることは不可欠である。今後は FEMによる解析を中心に、この密閉効果を定量的に評価する方法を検討していく予定である。

【参考文献】 1), 2), 3): 石岡博之、小泉 淳、村上博智: 密閉式合成セグメントの曲げ耐荷機構に関する研究, 土木学会第45回年次学術講演会(Ⅲ-20), 第46回年次学術講演会(Ⅲ-51), 第47回年次学術講演会(Ⅲ-4)

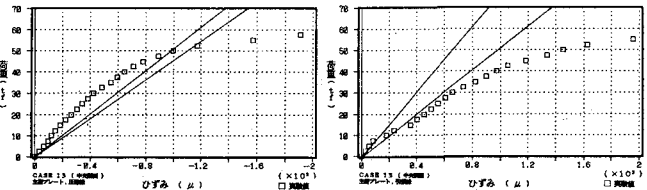


図4 スパン中央断面のひずみ

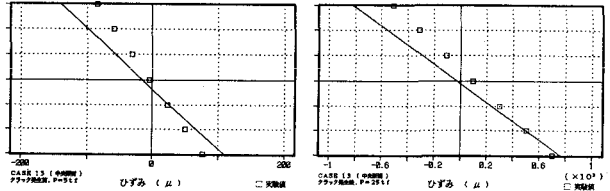


図5 スパン中央断面のひずみ分布図

表3 実験結果比較表

	CASE12	CASE13
クラック発生荷重 (tf)	10.8 (18.5)	10.8 (14.6)
破壊荷重 (tf)	72.2 (51.7)	62.5 (37.9)
たわみ量 (1/100mm)	37.2 (9.8)	25.6 (12.7)
曲げモーメント (kgf cm)	38693 (50000)	25833 (50000)
軸力 (kgf)	329571 (250000)	193134 (250000)
軸力 (kgf)	2190	1183
軸力 (kgf)	35581	14341

()内は解析値
軸力の解析値: N = Dkgf

表4 実験結果比較表 (FEM, RC理論)

	たわみ (1/100mm)	圧縮縁ひずみ (μ)	引張縁ひずみ (μ)
実験値	23.6	-86.3	82.8
解析値 (FEM)	10.2	-90.8	89.5
解析値 (RC)	12.7	-140.0	107.7