

Ⅲ-598

密閉式合成セグメントの曲げ耐荷機構に関する研究（その7）

早稲田大学 学生員 鈴木寛久

アラビア石油(株) 久保雅裕

日本国土開発(株) 正会員 石田智朗

早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

近年、シールドトンネルの大深度化や大断面化、また、トンネルの不要断面の低減や、トンネル空間の有効利用を図るため、従来の円形断面のシールドトンネルに代わって楕円断面、多心円断面、矩形断面などの異形断面が検討されるようになってきている。それに伴って、土圧、水圧による大きな断面力に耐えうる高性能の覆工部材が要求されている。このような要求に対して、鋼とコンクリートの合成構造である密閉式合成セグメントが開発された。昨年度までの研究^{1)~6)}においては、この密閉式合成セグメントは耐力はあるが剛性はそれ程高くないという結果が得られている。

今回、このセグメントの耐力および剛性について一連の実験結果を総合的に検討し、詳細な見直しを行った結果、新たな知見が得られたため報告するものである。

2. 耐力について

これまで便宜上、引張側スキンプレーットの降伏を供試体の破壊としてきたが、実験からはこのような破壊形態はみられず、圧縮側スキンプレーットが座屈して破壊に至るケースがほとんどである。そこで今回、スキンプレーットの降伏の後、主桁プレートが降伏してゆき、それに伴って中埋めコンクリートが終局ひずみに至るが、中埋めコンクリートの応力は鋼殻の拘束により保持

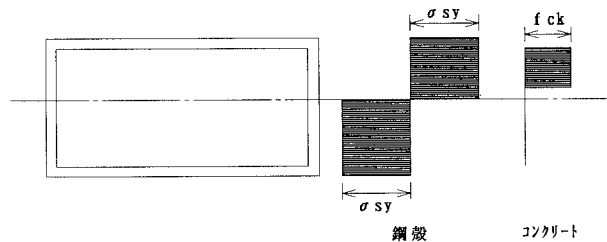


図1. 終局耐力モデル

表1. 終局耐力

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6	CASE7
スキンプレーット厚(cm)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.2	6.0
主桁プレート厚(cm)	4.5	4.5	4.5	3.2	6.0	4.5	4.5
継手プレート厚(cm)	4.5	3.2	6.0	4.5	4.5	4.5	4.5
終局耐力	計算値(kgf)	47033.7	47033.7	47033.7	40829.8	49191.1	32122.3
	実験値(kgf)	48600.0	46600.0	47900.0	43600.0	50400.0	34100.0
	実験値/計算値	1.033	0.991	1.018	1.068	1.025	1.062

され、鋼殻全体が降伏した状態を破壊と考えることにした。図1は鋼殻全断面が降伏応力に達し、

中埋めコンクリートが終局ひずみ3500 μ に達した状態を示したものである。この状態でセグメントモデルの耐力を計算した結果と実験結果とを表1に示す。計算に用いた値はすべて管理供試体より求めた値である。

最終耐力の計算値は実験値とよく一致しており、主桁プレート厚が変化した場合も、スキンプレーット厚が変化した場合もよく説明されている。密閉式合成セグメントの最終耐力は、このモデルによって説明できると考えられる。

3. 剛性について

図3は荷重とスパン中央断面の鉛直方向変位との関係を示した一例である。図中の直線はスキンプレーットの有効幅を $b_e = 2.5t$ (t はスキンプレーット厚)とし、RC理論を適用して計算したたわみの計算結果を示している。この結果から、密閉式合成セグメントは、スキンプレーットおよび主桁を鉄筋とみなしたRCはりと比べて剛性が低いセグメントであると考えてきた。図4は荷重とスパン中央断面と載荷点の鉛直方向変

位の差との関係を示した一例である。計算値はRC理論に基づく前述のものと同様のものである。図3に比べ図4では、計算値は実験値により近くなっていることがわかる。このことは、純曲げ区間ではRC理論によりこのセグメント模型のたわみがある程度説明できることを示している。したがって、密閉式合成セグメントの剛性が低い原因が支点と載荷点との間にあるものと考えられる。

そこで、支点と載荷点との間に働いているせん断力に注目してみた。昨年の研究⁵⁾において中埋めコンクリートと鋼殻とは荷重のかなり低い段階ではく離しており、完全に一体となって挙動していないという知見が得られている。せん断力が作用する区間の鋼殻のみを取り出し、これを薄肉の箱型断面はりとして考えると、この場合せん断遅れによる応力分布の不均一が発生することがよく知られている。設計ではこれを一般に有効幅を考えることにより処理している。そこで図2のようにモデル化した断面を用いてせん断力が作用する区間のたわみを計算し、これに純曲げ区間のたわみを加えてみた。今回、有効幅 b_e を求める際に適用した式は以下の式である。⁷⁾

$$b_e/b_f = 0.3 + 0.13 (L/b_f)^{1/2}$$

ここに、 b_e は有効幅、 b_f はフランジ幅（箱型断面の場合で全幅の $1/2$ ）、 L は等価スパン長（一点集中荷重に置き換えたはりのスパン長）である。その結果、得られた荷重とスパン中央断面の鉛直方向変位との関係の一例を図3に示す。計算モデル1はこれまでのRCはりとして考えた計算値で、計算モデル2は今回の有効幅を考えた計算値である。なお、添字のA、Bはそれぞれ、ひび割れ発生前、後を示している。

まだ密閉式合成セグメントの剛性の低さを完全に表現

しているとは言えないが、これまでの理論よりも実験値に近づいた結果が得られた。しかし、せん断遅れの現象は今回初めて考慮したものであることから、せん断力が作用する区間の実験データはほとんどなく、密閉式合成セグメントにおいてこれをどのように評価すべきかは把握されていない。

4. おわりに

本研究において、これまで高いと言われてきた密閉式合成セグメントの耐力については表現することができた。剛性の低さについては鋼殻を鋼構造としてとらえた場合考えられるせん断遅れ現象も原因の一つとして考えられることがわかった。今後は、このせん断遅れ現象について詳細に検討する目的で、特にせん断力が作用する区間での計測を充実して実験を進めていく予定である。

【参考文献】^{1)~6)}：石岡 他：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回年講（Ⅲ-20），第46回年講（Ⅲ-51），第47回年講（Ⅲ-4），
第48回年講（Ⅲ-5），第49回年講（Ⅲ-632），第49回年講（Ⅲ-633）

⁷⁾：「軽鋼構造設計施工指針」：4章部材設計，4.2板要素幅厚比および有効幅（4）

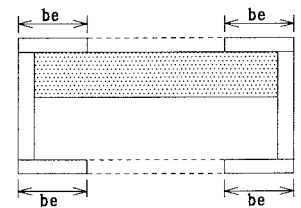


図2. 計算モデル

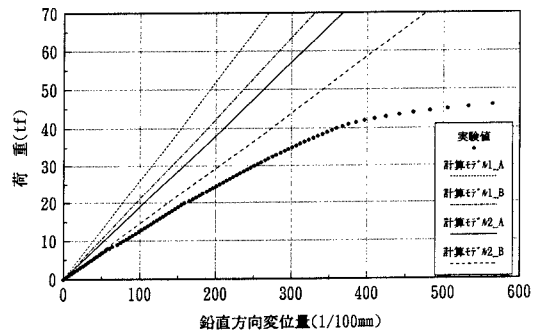


図3. 荷重-中央断面のたわみ

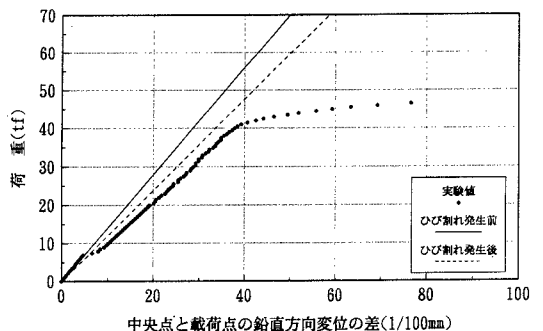


図4. 荷重-中央断面と載荷点のたわみの差