

角鋼管を用いたトンネル用合成セグメントの提案

JFE 建材 正会員 ○鱒淵 健、須藤 修、林 伸郎

JFE 技研 正会員 中西 克佳、岡田 淳

1. はじめに

都市部の道路整備はその交通事情から、地下道路トンネルの需要が増加している。近年、注目を集めている大深度地下法を利用した道路トンネルがその背景にある。大深度地下トンネルにおいては、セグメントの桁高さを小さくすることがコストダウンの一助となる。そこで、低桁高化が可能な新しいセグメント構造を提案する。そして、この構造の断面性能を検証するため、曲率の無い平板の縮尺モデルによる曲げ強度実験を実施した。

2. 鋼管セグメントの提案

トンネルが大口径になると、桁高（セグメントの厚さ）が施工コストに寄与する割合が上昇する。つまり、計画内径に桁高を足した容積が掘削断面となるため桁高を押さえることによって掘削土量を自乗で減少させることができる。ところが、従来の RC 構造では、大幅な低桁高化が困難である。

そこで、**図 1** に示す鋼殻に角鋼管を用いたセグメントを提案する。本セグメントは、鋼材料を増加させることなく、製作時に必要なスキンプレートの剛性、および施工時に必要なセグメント側面の強度を付加させることができる。また、鋼管内へのコンクリート充填により高耐力が期待できるため、低桁高化・スキンプレートの省力化が大幅に成せる可能性を有している。これらの理由から、合理的に低桁高を実現できるばかりでなく、スキンプレートをを用いることで漏水対策も施し易い構造であると考ええる。

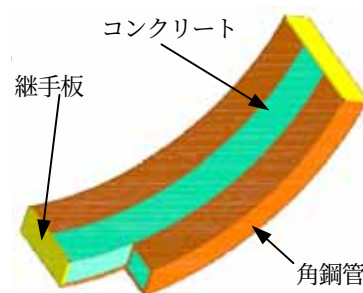


図 1 鋼管セグメントの概略図

3. 縮尺モデルを用いた鋼管セグメントの曲げ実験

(1) 実験供試体の諸元と载荷方法

実験供試体数は曲率の無い平板 4 体とし、パラメータはコンクリートの充填有無および载荷方向とした。**表 1** には、実験供試体の内訳を示す。また、**図 2** には、実験供試体と载荷状況を示す。ここで、実験供試体は、実際のセグメント寸法を 2m（幅）×0.45m（桁高）×4m（周方向長さ）と想定し、約 1/2 縮尺とした幅 890mm、および桁高 200mm で構成した。角鋼管には□200×200×5.7 を用いた。

表 1 実験供試体の内訳

No.	パラメータ	载荷方法
1	鋼殻	4 点正曲げ
2	角鋼管のみコンクリート充填	
3	コンクリート充填	4 点負曲げ
4		

使用コンクリートは、最大骨材寸法 20 mm、スランプフロー 60cm、空気量 1.8% の高流動コンクリートとした。また、使用鋼材は、鋼管が STKR400、その他の鋼材が SS400 材とした。**表 2** には硬化コンクリートの力学的特性を、**表 3** には鋼材の機械的性質を示す。なお、コンクリートは、打設後、気中養生した。

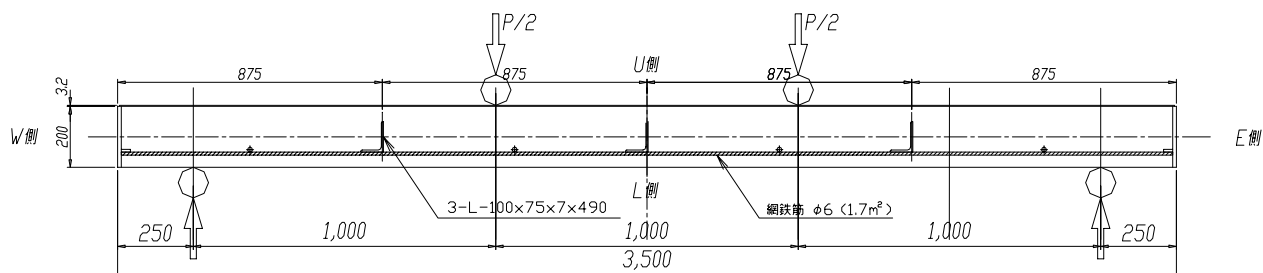


図 2 実験供試体と载荷状況（寸法単位：mm）

Key Words：トンネルセグメント、合成セグメント、大深度地下、鋼管、曲げ実験

連絡先：〒103-0012 東京都中央区日本橋掘留 1-10-15 TEL：03-5644-1207 FAX：03-5644-1235

図3には、荷重の載荷ステップ（ジャッキ荷重）を示す。

(2) 実験結果とその考察

実験供試体 No.3 は、 $P=69\text{kN}$ 時、鋼ひずみが非線形に伸びた。

鋼管内の充填コンクリート引張

側にひびが入ったと考えられる。 $P=145\text{kN}$ 以降、スキンプレートが断面中央部で徐々に膨らみ始めた。

$P=613\text{kN}$ 時、大きな網金の切断音がし、断面中央部のスキンプレートが盛り上がり、 $P=678\text{kN}$ で荷重が低下した。このとき、スキンプレート側のコンクリートが圧壊したと考えられる。その後、一端下がった荷重は、 648kN まで持ち直したが、鋼管のひずみがひずみ硬化領域に入ったため実験を終了させた。

なお、合成鋼管の断面性能は、試験終了まで健在であった。図4には、各実験供試体の荷重－変位曲線と各計算値を比較して示す。また、図5には、実験供試体 No.3 における試験終了時のコンクリートひび割れ図を示す。

図4より、実験供試体 No.1 は鋼管 2 本分の初期剛性、実験供試体 No.2 は鋼管 2 本分と合成鋼管 2 本分との間の初期剛性である。実験供試体 No.3、および No.4 は合成鋼管 2 本分の初期剛性を有している。実験供試体 No.3 の荷重－変位曲線は、完全合成での計算値を上回っている。また、網金が切断した後は、完全合成の計算値にほぼ一致している。また実験供試体 No.2 の荷重－変位曲線は、完全合成での計算値を若干下回っているものの、近似している。このことから、耐力上、合成鋼管のみでも十分な耐荷性能を有していると言える。図5より、試験体 No.3 のひび割れは分散していることが分かる。

4. まとめ

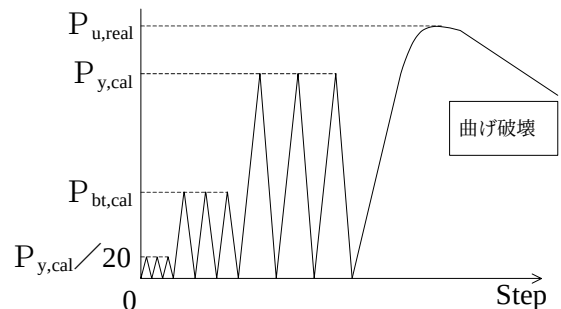
本研究では、低桁高かつ高耐力の合成セグメント構造「鋼管セグメント」を提案した。また、その性能を、曲率の無い平板の 1/2 縮尺セグメント試験体 4 体を用い 4 点曲げ実験を実施し、実験値を計算値と比較することにより、剛性、耐力、ならびに段階的な曲げ破壊メカニズムを明確化した。参考文献 1)田中ほか：大口径トンネル用合成セグメント、日本鋼管技報 No.122、1988。

表3 使用鋼板の機械的性質

部材	板厚 (mm)	上降伏点 (N/mm ²)	下降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	伸び率 (%)
鋼管	5.71	—	361	450	204.800	0.283	40.4
スキン PL	3.15	211	203	306	217.000	0.276	51.7
拘束板	4.39	—	216	315	210.800	0.283	53.9

表2 硬化コンクリートの力学的特性

実験供試体	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
2	39	82	5.1	32.200	0.195
3	41	—	—	—	—
4	42	80	5.0	32.900	0.203



$P_{bt,cal}$: 引張側コンクリートひび割れ荷重の計算値

$P_{y,cal}$: 鋼材の降伏荷重の計算値

$P_{u,real}$: 終局荷重 (=ピーク曲げモーメント)

図3 荷重の載荷ステップ（ジャッキ荷重）

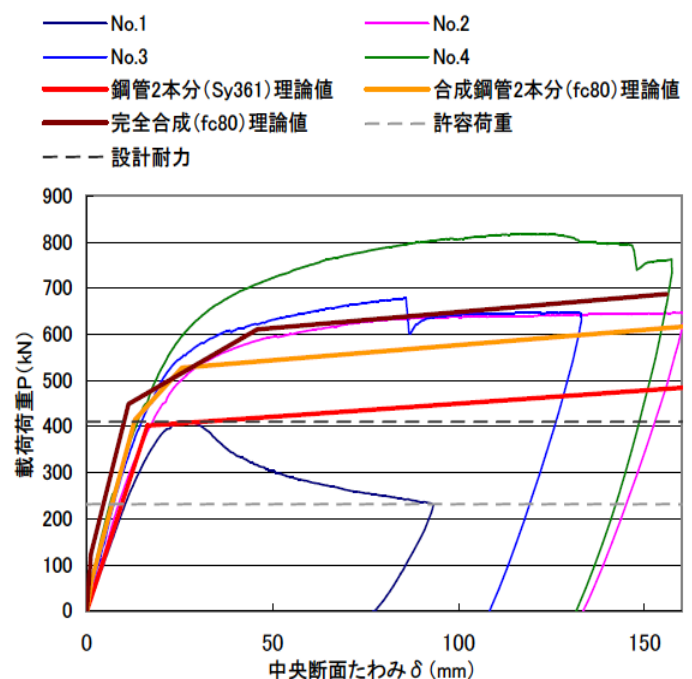


図4 各実験供試体の荷重－変位曲線と理論値

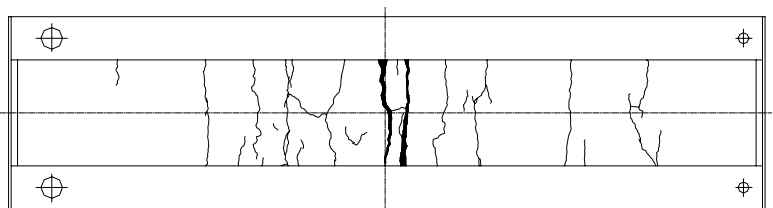


図5 実験供試体 No.3 のコンクリート面ひび割れ図