

丸鋼を用いた開削トンネルの変形性能および損傷評価に関する検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○川西 智浩
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 日野 篤志
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

1. はじめに

橋梁・高架橋等の構造物は外力として慣性力が支配的であり、耐力が小さいほど変形量は大きくなる一方であるため、付着強度を確保するために異型鉄筋を使う必要があるが、開削トンネルについては外力として地盤変位が主体であり、周辺を地盤に囲まれているため耐力が小さくても開削トンネルの変形には限度がある。したがって付着強度の低い材料、例えば丸鋼を使用し変形性能を高めることで部材の損傷を抑制できる可能性がある。そこで本研究では、開削トンネル部材の鉄筋に異型鉄筋および丸鋼を用いた場合を想定し、降伏点 (Y点) および最大耐力点 (M点) の荷重・変位を変えて動的解析を実施することにより、開削トンネルに丸鋼を用いた場合の有効性について検討を行った。

2. 丸鋼を用いた開削トンネル部材の変形性能

RC 部材の変形性能が異型鉄筋と丸鋼を用いた場合でどの程度異なるかを把握するため、既往の荷重実験¹⁾ で得られた Y 点・M 点の荷重および変位 (以下、実験値) を荷重-変位関係から読み取り、その実験値と、部材を異型鉄筋と仮定した場合の Y 点・M 点の荷重および変位 (以下、計算値) との比を算定した。その結果を表 1 に示す。Y 点については、異型鉄筋に比べて丸鋼の付着強度が低いために荷重は小さくなる一方、鉄筋の抜け出しにより変位は伸びる傾向にある。また、M 点については丸鋼にすることで変位がさらに伸びるが、M 点の荷重 (最大耐力) の差はそれほど大きくないことがわかる。

3. 解析条件

次に、2. の結果に基づいて丸鋼を用いた RC 開削トンネル部材の変形性能を設定し、動的解析を実施して異型鉄筋を用いた場合の結果と比較することにより、開削トンネルに丸鋼を用いた場合の変形と損傷の評価を行う。解析対象構造物を図 1 に示す。1 層 2 径間の開削トンネルに対し、異型鉄筋を用いる場合については図 1 右下に示す配筋条件を設定して解析を実施し、鉄道の設計標準²⁾ に基づき C 点 (ひび割れ点)、Yb 点、M 点 (最大耐力点) を結ぶトリニア型でモデル化する。ただし、軸力は初期状態で固定とする。

表 1 異型鉄筋・丸鋼を用いた RC 部材の変形性能の比較 (文献 1) に基づき設定

		実験値/計算値 ^{※1}		
		異型鉄筋のケース <文献1, No.7>	丸鋼のケース <文献1, No.1>	丸鋼/異型鉄筋
Y点	荷重 ^{※2}	1.30 (=220kN/170kN)	1.00 (=150kN/150kN)	0.77
	変位 ^{※2}	1.00 [=(24/6)mm/4mm]	1.21 [=(29/6)mm/4mm]	1.21
M点	荷重 ^{※3}	1.13	1.22	0.93
	変位 ^{※2}	0.83 (=24mm/29mm)	1.21 (=29mm/24mm)	1.46

※1 実験値および計算値は、正負の平均値で整理した。
 ※2 実験値の荷重・変位は荷重-変位関係より読み取った (誤差を含んでいる)
 ※3 文献1)に示されている値を適用した。

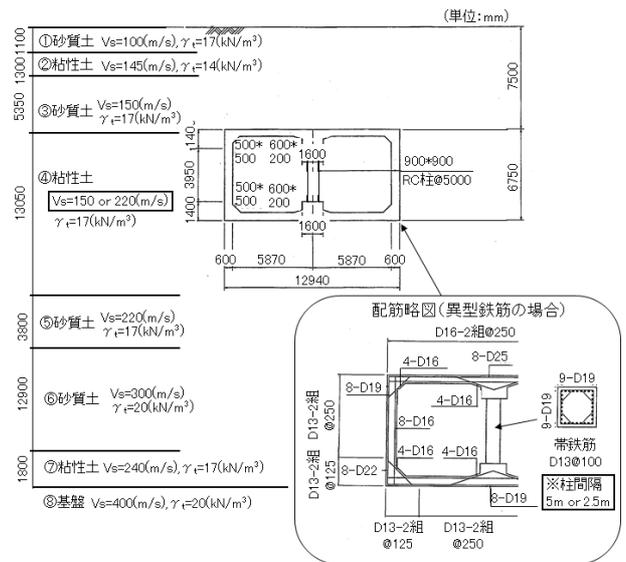


図 1 解析対象構造物

キーワード 開削トンネル, 丸鋼, 変形性能, 地震応答解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所鉄道地震工学研究センター TEL 042-573-7336

また、丸鋼を用いる場合については、異型鉄筋を用いた場合のRC部材の骨格曲線に対して、2.の結果に基づいて図2に示すようにY点、M点を修正することとした。また地盤については、GHE-Sモデルを用いて非線形性を考慮することとした。解析ケースを表2に示す。開削トンネルと同一の深さにある粘性土(④層)のVsと中柱間隔を変えた計3つの解析シリーズを設定し、それぞれについて異型鉄筋と丸鋼を用いたケースの解析を実施する。丸鋼のケースについては、基本ケースに対しMyおよびMmを変化させることで、丸鋼の鉄筋量が変わり耐力が変化した場合の荷重-変位関係への影響を把握するためのケースも設定した。そして、鉄道の耐震標準²⁾におけるL2地震動スペクトルII(G1地盤用)を基盤位置に入力して動的解析を実施する。

4. 解析結果

各解析シリーズにおける、トンネル深さ位置の自然地盤の相対変位に対するトンネルの相対変位の比の関係を図3に示す。Case1およびCase2シリーズは地盤よりトンネルの変形が大きくなるケースが多いパターンであり、一方Case3シリーズは、両者の変形がほぼ同一あるいは地盤の変形のほうが大きくなるパターンであるが、いずれのケースでも異型鉄筋を丸鋼に変えたりトンネルの耐力が低下しても変形量が極端には変動しない結果となっており、特にCase1、Case2シリーズにおいては丸鋼の耐力低下に伴う変形が若干ではあるが頭打ちになる傾向が見られる。これは開削トンネルが地盤に追従している影響と考えられる。次に、中柱における部材の応答曲率をY点曲率およびM点曲率で除した値を算出し、Y点およびM点に対する余裕度を求めた結果を図4および図5に示す。異型鉄筋と丸鋼基本ケースで比較すると、Y点ではほぼ同一、M点では丸鋼のほうが応答に余裕があり、丸鋼を用いることで開削トンネルの大きな損傷を防止できる可能性があることを示唆している。一方、耐力低下に伴う余裕度の変化に着目すると、Case2シリーズでは余裕度への影響が少なく、一方Case3シリーズでは耐力低下に伴い余裕度が比較的大きく変化することがわかる。したがって、丸鋼を用いることによる部材の損傷抑制効果は、地盤に比べてトンネルが大きく変形するケースのほうが高いといえる。

5. まとめ

本検討では、静的荷重実験の結果に基づいて丸鋼を用いたRC部材の変形特性を設定して開削トンネルの動的解析を実施した結果、特に地盤に比べてトンネルが大きく変形するケースにおいて、丸鋼の特性を考慮することで開削トンネルの損傷を抑制できる可能性があることが明らかになった。今回は中柱が大きく損傷するケースでの検討であったが、側壁が損傷するケースやどの部材に丸鋼を用いることが適切か等について検討を行い、開削トンネルに付着強度の弱い部材を用いることの有効性についてさらに検証していきたいと考えている。

参考文献 1) 伊東ら：丸鋼を用いたRC柱の地震時破壊形態，SED，No.47，pp.120-127，2016. 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善，2012.

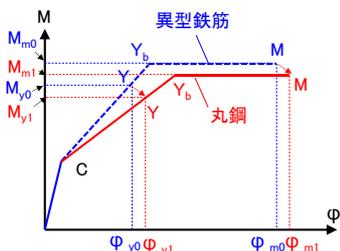


図2 骨格曲線の設定

表2 解析ケース

(a)地盤・構造物条件

	地盤条件 (④層のVs)	中柱間隔
Case1シリーズ	150(m/s)	5m
Case2シリーズ	220(m/s)	5m
Case3シリーズ	150(m/s)	2.5m

(b)骨格設定条件

	ϕ_y	My	ϕ_m	Mm	備考
異型鉄筋	ϕ_{y0}	My_0	ϕ_{m0}	Mm_0	鉄道の耐震標準 ²⁾ に基づき設定
丸鋼基本ケース (丸鋼1.0倍)	$1.2 \times \phi_{y0}$ ($=\phi_{y1}$)	$0.8 \times My_0$ ($=My_1$)	$1.5 \times \phi_{m0}$ ($=\phi_{m1}$)	$0.9 \times Mm_0$ ($=Mm_1$)	表1の値に基づき設定
丸鋼1.1倍	ϕ_{y1}	$1.1 \times My_1$	ϕ_{m1}	$1.1 \times Mm_1$	丸鋼基本ケースに対し、耐力を変化
丸鋼0.9倍	ϕ_{y1}	$0.9 \times My_1$	ϕ_{m1}	$0.9 \times Mm_1$	
丸鋼0.8倍	ϕ_{y1}	$0.8 \times My_1$	ϕ_{m1}	$0.8 \times Mm_1$	

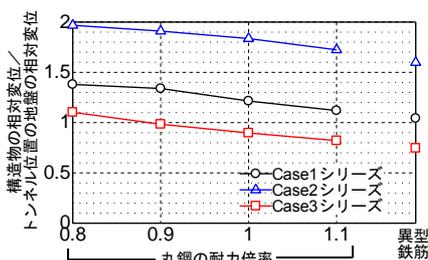


図3 構造物・地盤の変形比

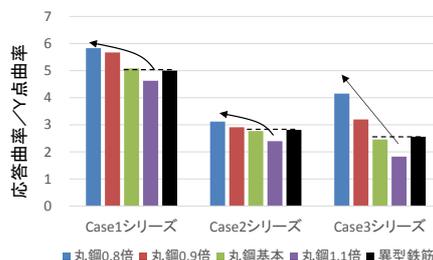


図4 中柱の応答曲率/Y点曲率

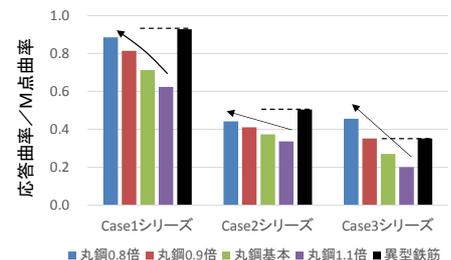


図5 中柱の応答曲率/M点曲率