

開削トンネルの曲げの非線形特性に関する一考察

オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○張 寧 正会員 久木留 貴裕 正会員 梅林 福太郎
正会員 福間 雅俊 正会員 大竹 省吾

1. はじめに

道路橋の RC 橋脚の耐震設計方法は、H8 年道示 V¹⁾の改定後、H24 年道示 V²⁾で改定され、部材の曲げの非線形特性を算定する際のコンクリートの応力～ひずみ関係や限界ひずみ等の考え方が更新された。一方で、開削トンネルの横断方向の耐震設計においては部材の曲げの非線形特性は、H8 年道示 V に準拠している場合が多い³⁾。H24 年道示 V の改訂では、鉄筋の応力～ひずみ関係をひずみ硬化の影響が小さいことから完全弾塑性型としている⁴⁾が、開削トンネルでは、鉄筋のひずみ硬化を考慮し、降伏後の剛性と弾性域の剛性の比率（2次勾配）に 1/100 を考慮されている場合がある³⁾。これは、開削トンネルでは RC 橋脚のような側面鉄筋がないことと等から鉄筋降伏後に耐力が低下することへ配慮である。本論では、開削トンネルに対して、道示の違い（H8 と H24）及び鉄筋の応力～ひずみ関係の 2次勾配の有無に着目して試算を行い、検討結果を比較することで、開削トンネルの横断方向の耐震設計への H24 年道示 V の曲げ非線形特性の適用について検討した結果を示す。また、参考までに RC 橋脚についても同様の検討を行った結果も示す。

2. 検討条件

図-1 に開削トンネルの試算断面を示す。コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 、着目位置（左側壁下端塑性ヒンジ）の外側主鉄筋は D22@300+D19@300、内側主鉄筋は D19@150、スターラップは D16ctc150×450、鉄筋の材質は SD345 である。入力地震動は、レベル 2 地震動(タイプII)を用いた。構造物の応答解析には、応答震度法を適用した。

図-2 に RC 橋脚の試算モデルを示す。コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 、軸方向鉄筋は D35@125 の 2 段、帯鉄筋は D16ctc150、鉄筋の材質は SD345 である。入力地震動は、H24 年道示のレベル 2 地震動(タイプII)を用いた。また、構造物の応答解析には、動的解析法を適用した。

試算ケースを表-1 に示す。本検討は、開削トンネルと RC 橋脚に対して、道示の曲げの非線形モデルの相違と、ひずみ硬化の有無による M- ϕ 特性と許容値の違いに着目した。

3. 開削トンネルの試算結果

キーワード 開削トンネル, RC 橋脚, 非線形特性, 鉄筋のひずみ硬化, 完全弾塑性, 2次勾配

連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1 住友不動産西新宿ビル 6 号館 オリエンタルコンサルタンツ TEL. 03-6311-7860

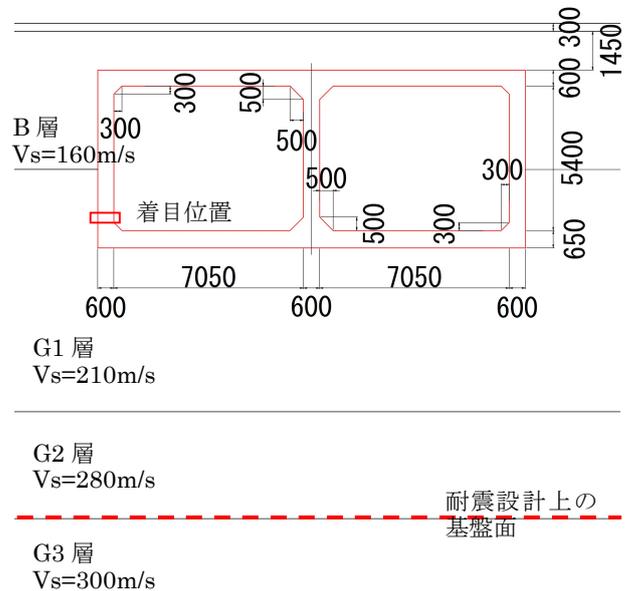


図-1 開削トンネル検討断面

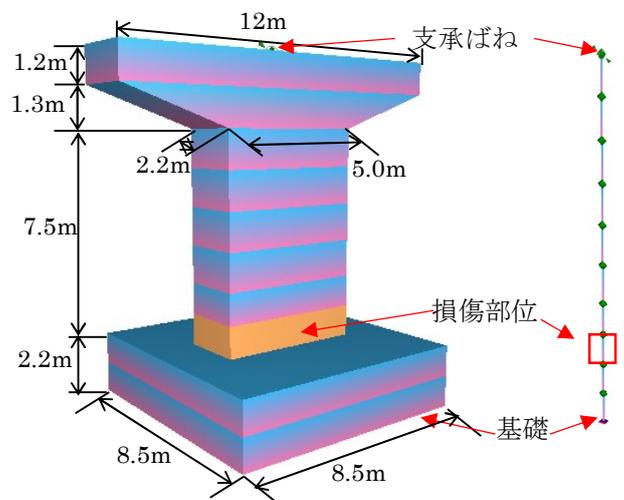


図-2 RC 橋脚試算モデル

表-1 試算ケース

CASE	検討対象	道路橋示方書	鉄筋	σ_{ck} (N/mm ²)	ひずみ硬化
1	開削トンネル	H8	SD345	30	無し
2		H24	SD345	30	無し
3		H8	SD345	30	有り
4		H24	SD345	30	有り
5	橋脚	H8	SD345	30	無し
6		H24	SD345	30	無し
7		H8	SD345	30	有り
8		H24	SD345	30	有り

開削トンネルについて、地震時の発生曲げが大きくなる、側壁下端に着目し、M- ϕ 特性の比較を行った(図-3)。同図より、H8道示V(CASE1)とH24道示V(CASE2)のM- ϕ 特性を比べると、いずれも降伏後は負勾配となっている。これは、開削トンネルでは、RC橋脚のように側面に鉄筋がないこと等により、降伏曲げモーメントよりも終局曲げモーメントの方が小さく評価されてしまうためである。また、終局曲率についてはH8道示Vの方が大きい。これは、H24道示Vでは、圧縮側のコンクリートに加え、鉄筋の限界状態についても考え方が規定されたことにより、鉄筋の限界状態に先に達したからである。これに対して、鉄筋の応力～ひずみ関係に実際には存在する2次勾配を見込んだCASE3、4は、降伏後の勾配が正勾配となっていることが分かる。また許容値は、CASE4の方が小さく、レベル2地震動に対する応答値の許容値に対する比率は、表-2に示とおりにCASE3、4それぞれ24%と39%となり、その差は小さかった。

4. 橋脚の試算結果

図-4に橋脚基部のM- ϕ 特性を示す。橋脚においても、開削トンネルと同様の傾向である。ただし、2次勾配の考慮の有無に関係なく降伏後の勾配は正となる。表-3に応答値と許容値及びその比率を示す。H8道示VとH24道示Vで応答値の許容値に対する比率は、CASE5とCASE6で50%と67%、CASE7とCASE8で59%と65%となり、いずれの条件であっても差異は小さかった。

5. まとめ

開削トンネルとRC橋脚に対して、道示の違い(H8とH24)と鉄筋の応力～ひずみ関係のひずみ硬化による2次勾配の有無に着目した試算を行い、以下の知見を確認した。

- 1)開削トンネルの曲げの非線形特性の算定には、H8道示VとH24道示Vのいずれに対しても鉄筋のひずみ硬化を考慮することで、鉄筋降伏後の負勾配が解消される。
- 2)H8道示VとH24道示Vに基づき算出した曲げの非線形特性及び許容値は、鉄筋のひずみ硬化を考慮した開削トンネルにおいては、その差は大きくない。また、RC橋脚では鉄筋のひずみ硬化の有無に関わらず差異が小さい。
- 3)以上より、開削トンネルの曲げ非線形特性の算定にH24道示Vを適用し、鉄筋のひずみ硬化を考慮することは、RC橋脚を対象とした道示の改訂と同様に配筋に大きな影響を及ぼすレベルではないと考えられる。

参考文献：

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V，1997。8。2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V，2012。3。3) 首都高速道路：トンネル構造物設計要領（開削工法編），pp. 2-69，2019。3。4) 独立行政法人土木研究所：鉄筋コンクリート橋脚の地震時限界状態の評価手法に関する研究，土研資料4262，pp. 102-106，2013。3

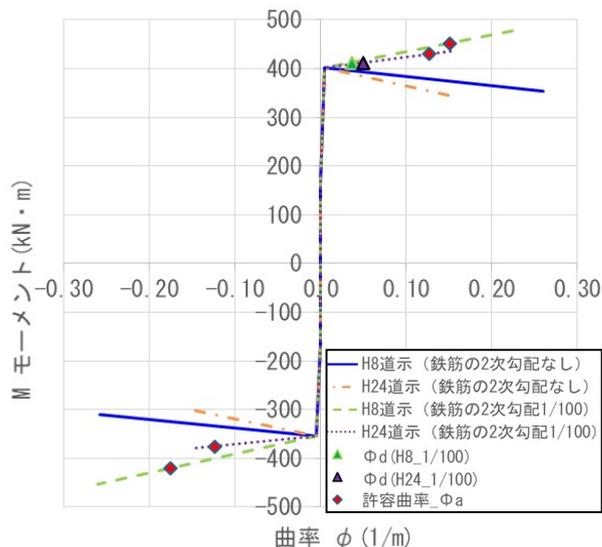


図-3 開削トンネル側壁下端 M- ϕ 比較

表-2 開削トンネル側壁下端照査結果

CASE	最大応答曲率 ϕ_d (1/m)	許容曲率 ϕ_a (1/m)	ϕ_d/ϕ_a
3	3.677E-02	1.507E-01	0.24
4	4.957E-02	1.269E-01	0.39

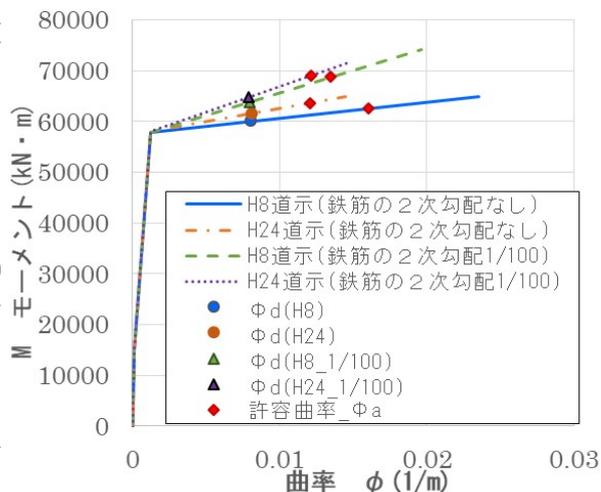


図-4 橋脚基部 M- ϕ 比較

表-3 橋脚基部照査結果

CASE	最大応答曲率 ϕ_d (1/m)	許容曲率 ϕ_a (1/m)	ϕ_d/ϕ_a
5	8.032E-03	1.606E-02	0.50
6	8.114E-03	1.208E-02	0.67
7	7.928E-03	1.347E-02	0.59
8	7.879E-03	1.217E-02	0.65