

損傷制御型鋼製セグメントの設計

阪神高速道路(株) 正会員 ○新名 勉, 藤原 勝也, 阪神高速技術(株) 正会員 志村 敦
 鹿島建設(株) 正会員 玉田 康一, 牛垣 勝, 多田 幸夫

1. はじめに 阪神高速道路(株)が施工する大和川線シールドトンネルは、セグメント外径φ12.230m、延長2.0kmの併設トンネルである。レベル2地震動以上の地震レベルである「最大級シナリオ地震動」に対し、縦断方向の耐震設計において、トンネル軸方向の圧縮力が卓越した。そこで、耐震性能を満足するための変形性能を有し、必要以上の過大な変形は抑制する「損傷制御型」の鋼製セグメントを開発・適用した。本稿では、その内容について報告する。

2. 耐震性能 表-1に地震レベルと目標とする耐震性能¹⁾を示す。最大級シナリオ地震動は、上町断層の破壊シナリオを反映した、大和川線の設計対象区間に最も大きな影響を及ぼす想定地震動である。最大級シナリオ地震動では、地震動の特徴を考慮し、耐震性能は安全性に限定している。

表-1 地震レベルと目標とする耐震性能¹⁾

地震レベル	対象地震動	目標とする耐震性能		
		安全性	機能性	復旧性
レベル1地震動	道路橋示方書I種地盤のスペクトル特性を有する地震動	地震時の利用者に対する安全性を確保	地震直後にも一般車両の通行が可能	通行止めを伴う補修・補強不要
レベル2地震動	兵庫県南部地震における強震動記録より作成した、基盤での平均的なスペクトル特性を有する地震動、および南海トラフ沿いを震源とする南海・東南海地震	地震時の利用者に対する安全性を確保	地震直後にも緊急車両が通行可能・建築限界確保	補修・補強により当初の機能回復が可能
最大級シナリオ地震動	上町断層を震源とするシナリオ地震動	構造物全体が崩壊せず、地震時の利用者に対する安全性を確保	-	-

3. 縦断方向の耐震設計 縦断方向の耐震設計では、応答変位法を用いて、シールドトンネルを等価な一様剛性はりとしてモデル化し、トンネル軸方向および軸直角方向の地震外力(地盤変位)をばねを介して動的に載荷した¹⁾。立坑接続部は、軸方向は充てん材の付着による拘束を考慮したスライド結合、軸直角方向はピン結合としてモデル化した。最大級シナリオ地震動の照査では、コンクリートの終局耐力を許容値とした。最大級シナリオ地震動で発生した地盤変位は過大なため、地盤ばね定数の上限設定(地震時の地盤・構造物間の非線形性)や、部材の非線形性を考慮した解析を実施した。

図-1に最大級シナリオ地震動に対する最大軸ひずみの分布を示す。「対策工なし」では、地盤ひずみが大きい領域のセグメント構造変化点(合成-RCセグメント接続部、3断面)において、コンクリートの軸圧縮ひずみが終局ひずみを大きく超過した。このため、構造変化点に変位吸収機構を導入し、所要の耐震性能を確保することを目指した。表-2に対策工の比較を示す。対策②を選定し、その具体策として「損傷制御型鋼製セグメント」を適用し、トンネル軸方向のコンクリート圧縮ひずみを終局ひずみ以内に収めることとした。

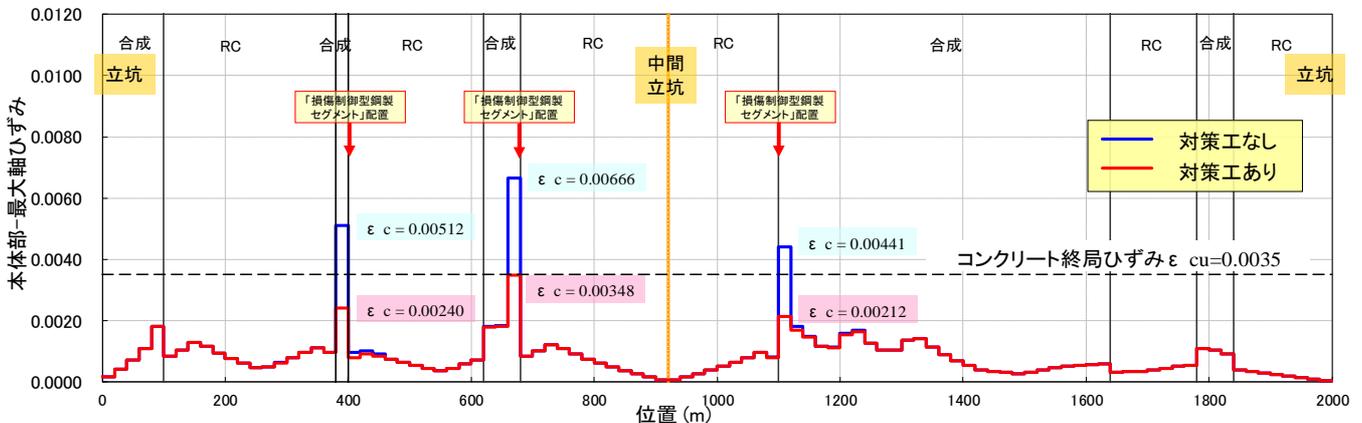


図-1 最大級シナリオ地震動に対する最大軸ひずみ分布(先行トンネル)

キーワード シールドトンネル, セグメント, 最大級シナリオ地震動, 耐震, 損傷制御設計

連絡先 〒590-0075 堺市堺区南花田口町 2-3-20 阪神高速道路(株)建設事業本部堺建設部設計課 TEL072-226-4794

4. 損傷制御型鋼製セグメント

図-2 に構造概要を示す。縦断方向の断面性能（縦リブ他）は、レベル 2 地震動の発生軸力以上の耐力を有し、最大級シナリオ地震動では座屈（降伏）するものとした。この座屈にともなう圧縮変形により、トンネル軸方向のひずみを許容値内に収めた。一方で、セグメントに必要以上の変形を生じさせず、損傷を制御する観点から、所定の圧縮変形以上の変形に抵抗する部材（軸力伝達材）を設定した。図-3 に地山側の構造

を示す。スキンプレートとカバープレートによるスライド機構を設け、継手部止水プレートを配置することにより、圧縮変形時の土砂流入抑制に配慮した。図-4 に圧縮変形状況を示す。設計上のセグメント圧縮変形量は 70mm で設定した。縦リブは、要素実験・解析により座屈挙動を検証し、部材仕様を決定した。

表-2 対策工の比較

ケース	①可とうセグメント	②鋼製セグメントの縦リブ変形による対策	
概要	伸縮部を有する可とうセグメントの変形により圧縮力を吸収。 [可とうセグメントは常時部材]	最大級シナリオ地震動に対し、鋼製セグメントの縦リブを不可逆的に変形させることにより変位を吸収。 [変位吸収機構は、最大級シナリオ地震動のみ発揮]	
使用性	常時の可とう性から、舗装等の内部構築に目地が必要となる可能性。	△	通常の鋼製セグメントと同等。 ○
耐久性	止水ゴムの長期耐久性が懸念。	△	通常の鋼製セグメントと同等。 ○
維持管理性	継手部からの漏水リスクあり。	△	通常の鋼製セグメントと同等。 ○
安全性 (最大級シナリオ地震動)	特に問題ない。	○	地震時変形にともなう土砂流入等の懸念はあるが、対処可能。 ○
経済性	一般的なセグメントと比較して高価。	△	比較的安価。 ○
実績	道路シールドトンネルとして複数の実績あり。	○	変位吸収機構としての実績は無いため、解析・実験等による性能確認が必要。 △
評価	△	○	

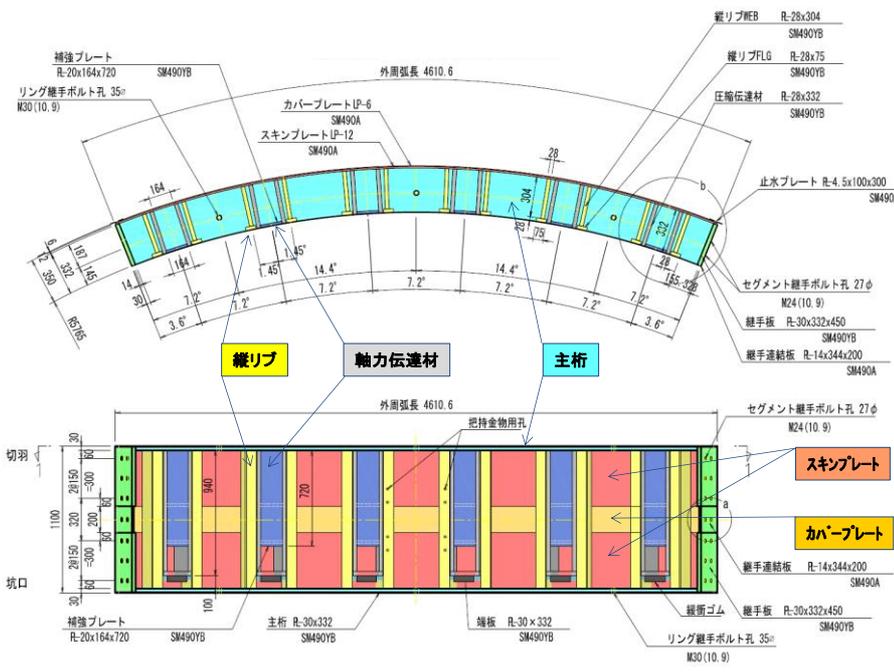


図-2 損傷制御型鋼製セグメントの構造概要

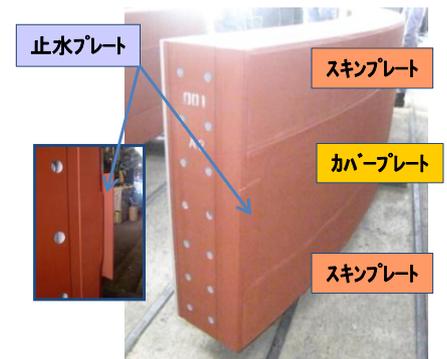


図-3 地山側の構造

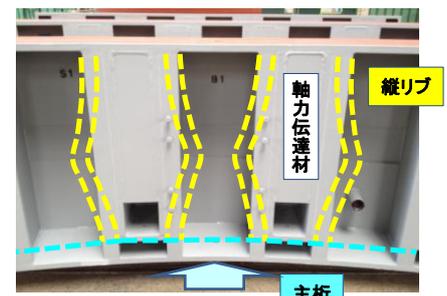


図-4 圧縮変形状況

5. おわりに 今回開発した「損傷制御型鋼製セグメント」により、各地震動に対して、使用性・維持管理性に優れた耐震対策を実施できた。2014年4月現在、掘進を完了した先行トンネルにおいて、本セグメント(3リング)の施工を無事終えている。今後も完工に向け鋭意努力し、大和川線の事業進捗を図っていきたい。

謝辞 本稿の検討では、「大和川線トンネル技術委員会(委員長:大西有三 京都大学名誉教授)」より多大なご指導を頂いた。ここに付記して謝意を表します。

参考文献 1) 阪神高速道路(株)：シールドトンネル設計マニュアル，2011.2
 2) 藤原，仲，志村：阪神高速大和川線シールドトンネルの耐震検討，阪神高速道路(株)技報第25号，2010。