

部材厚の薄い矩形トンネルの耐震検討（横断方向）

東京都 正会員 榎本，小田桐，平川，林，土肥  
 パシフィックコンサルタンツ 正会員 佐藤，峯谷

1. はじめに

都市内の地下はインフラが輻輳し，新たなトンネル計画への物理的な制約が多い．都市計画道路環状第2号線が国道15号の地下を横断する箇所は，営業中の地下鉄とも交差し，かつ地下埋設物空間として必要な国道の土被り1mを確保すべきことから，地下鉄頂版に接し部材厚を薄くした矩形トンネルとして計画したため（図-1），構造設計上支配的となる地震時性状を把握する目的で横断方向の耐震検討を実施した．

2. 基本方針

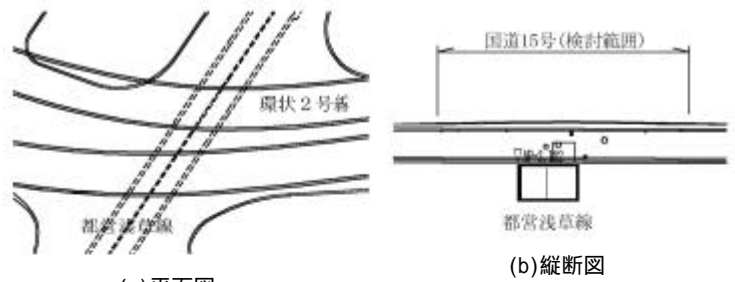
常時設計において，コンクリート強度を24(N/mm<sup>2</sup>)から30(N/mm<sup>2</sup>)に上げ，かつ，常時荷重で発生するせん断力に対して，コンクリートだけでなく，せん断補強鉄筋でも分担する設計を行い，図-2に示す断面を初期断面とした．地震時の検討は，地下鉄構造物のモデル化に配慮し，応答震度法により実施した．

3. 解析方法および入力地震動

耐震設計は等価線形化法による1次元地震応答解析の加速度分布結果から，構造物と周辺地盤をモデル化したFEMメッシュに慣性力として静的に作用させ，構造物の応答を求めた．地盤は等価線形とし，構造物はM～特性により非線形性を考慮した．常時設計では構造物の配筋は，地下鉄構造物を無視した現地盤条件（以下，自然地盤条件と言う）の方が安全側となるため，自然地盤条件に対して初期応力解析を行った．地震時においては，自然地盤条件に加え地下鉄構造物を考慮した条件の2条件で検討し，評価を行った．その際，地下鉄構造物は1次元地震応答解析およびFEM静的解析において硬質地盤としてモデル化（以下，硬質地盤条件と言う）を行った．入力地震動は図-3に示す加速度応答スペクトルに適合した波形を用い，道路橋示方書（H8）のM～特性およびせん断耐力により安全性の確認を行った．なお，本検討対象は部材厚が小さく，かぶりコンクリートの影響が比較的大きいため，鉄筋の応力～ひずみ関係における降伏後の2次勾配比1/100のひずみ硬化を考慮するとともに，圧縮鉄筋位置のコンクリートひずみが終局ひずみに達する時点の曲率と，引張鉄筋のひずみが10%に達するときの曲率を比較し，小さい方の曲率を終局曲率とした．

4. 解析結果

図-4に1次元地震応答解析による，検討断面の上床版と下床版位置における相対変位が最大となる時刻の変位分



(a) 平面図

(b) 縦断面図

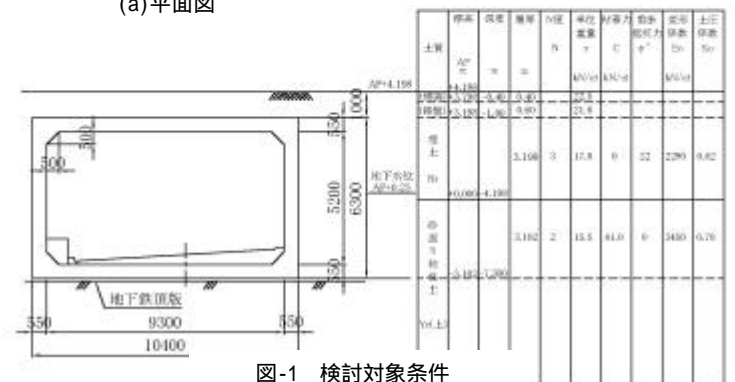


図-1 検討対象条件

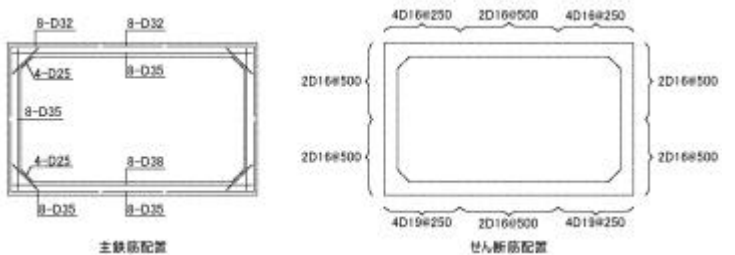


図-2 常時配筋条件

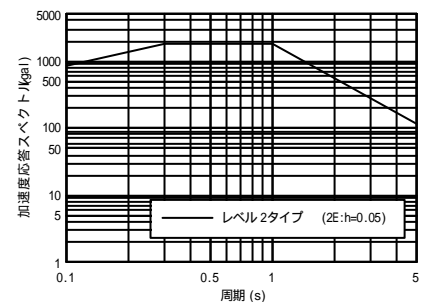


図-3 加速度応答スペクトル

キーワード：開削トンネル，近接構造物，耐震設計  
 連絡先：〒140-0005 東京都品川区広町2-1-36 東京都第二建設事務所

布結果を示す．これによると，地下鉄構造物を考慮した方が検討断面にとって厳しい条件となることが明らかである．

図-5 に FEM 解析で硬質地盤条件の場合の周辺地盤及び構造物の変形モードを示す．地下鉄構造物の存在により地盤変位モードが躯体にとって厳しくなっている性状が確認できる．

耐震安全性の評価は，層間変形角ならびに曲率とせん断耐力で実施した．表-1 に層間変形角を示す．これによると硬質地盤条件での層間変形角が大きくなっているが，最大でも 1/50 以内である．

表-1 層間変形角

地盤条件	層間変形角	
	上側	下側
自然地盤	1/175	1/101
	1/70000	1/655
硬質地盤	1/122	1/67
	1/55	1/56

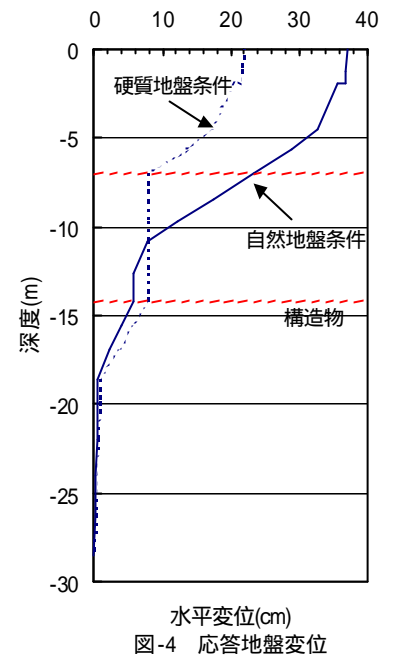


図-4 応答地盤変位

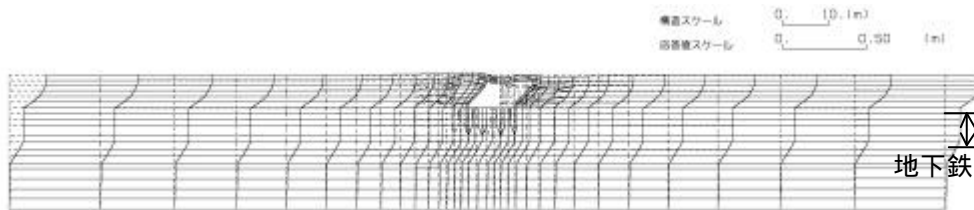


図-5 変形モード図

表-2 にせん断補強筋に着目した曲率およびせん断耐力照査結果を示す．せん断耐力を確保するようにせん断鉄筋を増加することにより，許容曲率を満足することができる．したがって，主鉄筋を増加させることなく，変形性能を向上することで耐震性を確保することが可能と判断する．側壁基部の隅角部が最も厳しく，せん断補強筋を D16ctc125 で奥行き方向にも 125mm ピッチで 8 本 / m 配置する必要がある．図-6 に側壁のせん断補強鉄筋配置例を示す．道路橋示方書によれば，じん性確保のための構造細目として，両側半円形フック(8 )または両側鋭角フック(10 )とすることが要求される．このため，施工に対しては厳しい配置条件となっており，十分細目を検討し施工性向上をはかる必要がある．

表-2 せん断耐力および曲率の照査

検討箇所	発生曲率 (1/m)	発生せん断力 (kN)	常時配筋			せん断補強鉄筋の増加		
			せん断補強鉄筋	許容曲率	せん断耐力	せん断補強鉄筋	許容曲率	せん断耐力
上床版	左端	$6.53 \times 10^{-3}$	4-D16ctc250	$1.08 \times 10^{-1}$	593	-	-	-
	右端	$9.32 \times 10^{-3}$	4-D16ctc250	$1.98 \times 10^{-1}$	593	-	-	-
左側壁	上端	$2.64 \times 10^{-2}$	2-D16ctc500	$5.24 \times 10^{-2}$	288	-	-	-
	下端	$8.75 \times 10^{-2}$	2-D16ctc500	$7.16 \times 10^{-2}$	288	4-D16ctc125	$1.56 \times 10^{-1}$	999
右側壁	上端	$7.17 \times 10^{-2}$	2-D16ctc500	$1.18 \times 10^{-1}$	288	2-D19ctc500	-	333
	下端	$7.98 \times 10^{-2}$	2-D16ctc500	$7.16 \times 10^{-2}$	288	4-D16ctc125	$1.56 \times 10^{-1}$	999
下床版	左端	$3.54 \times 10^{-3}$	4-D19ctc250	$2.02 \times 10^{-1}$	772	4-D19ctc125	-	1360
	右端	$2.44 \times 10^{-3}$	4-D19ctc250	$1.19 \times 10^{-1}$	772	4-D19ctc125	-	1360

5．まとめおよび注意事項

本検討では，交差する地下鉄構造物を硬質地盤としてモデル化し，1次元地震応答解析を用いた応答震度法で耐震安全性の検討を行った．その結果，せん断補強筋を増加させることにより，せん断耐力および許容曲率を満足することが可能であることが判明した．しかし，本検討対象のように，部材厚の薄い版構造に道路橋示方書の M ~ 特性やせん断耐力式などを適用することの妥当性あるいは配筋細目の準用については，今後，実験などにより検証を行う必要がある．

6．謝辞

本報告は技術検討委員会（今田徹委員長）の成果の一部であり，さらに独立行政法人土木研究所耐震研究グループ（運上茂樹上席研究員）ならびに国土交通省東京国道工事事務所にもご指導いただいた．ここに感謝します．

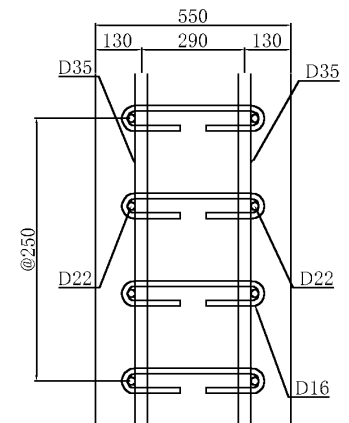


図-6 側壁のせん断補強鉄筋