

大阪南港トンネル陸上トンネル部の設計について DESIGN OF NANKO APPROACH TUNNEL FOR OSAKA NANKO TUNNEL

木山正明*・角谷広樹*・石川元則**・美島和生**

Masaaki KIYAMA, Hiroki KADOYA, Yukinori ISHIKAWA and Kazuki MISHIMA

Osaka Nanko approach tunnel is going to be constructing on a new reclaimed land. Numerical analysis is conducted about axial stress in tunnel lining and displacement of tunnel caused by differential settlement, earthquake and temperature. In the actual design, flexible joints are set at certain interval to reduce the stress.

Keywords: numerical analysis, flexible joint, differential settlement, earthquake

1. まえがき

大阪港では、埋立造成された南港、北港(咲州、舞州、夢州)において21世紀に向けた情報化・国際化に対応した新しい街づくり計画「テクノポート大阪」計画が推進されている。その中で、図-1に示す「大阪南港トンネル(仮称)」は、先駆的に開発が進む南港の「コスモスクエア」地区と港区を鉄道及び道路で結び、今後増大する自動車交通、旅客輸送需要に対応する交通の要となるものである。

大阪南港トンネルの構成は、図-2に示すように海底部の沈埋トンネル部、その両端の換気塔部および在来施設へのアプローチとなる陸上トンネル部から成り立ち、沈埋工法ではわが国ではじめての道路・鉄道併用トンネルである。南港側陸上トンネル部は、平成3年度から造成を始めた若齢埋立地に施工するため、沖積粘土層だけでなく洪積粘土層の不同沈下が予想される。また、道路・鉄道併用トンネルであるため大断面の構造となり、陸上部ではトンネル断面が著しく変化する。さらに、基礎形式、地盤改良工法の違いにより地震時の振動特性が縦断方向で複雑に変化すると予想される。

本報告では、大阪南港トンネル陸上部の南港側において不同沈下及び地震対策として適宜、可撓継手を設

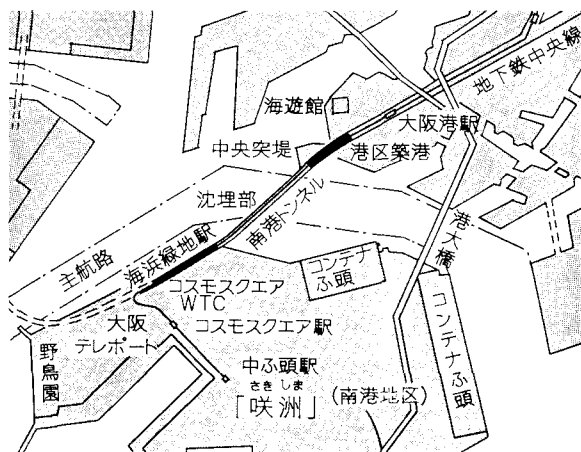


図-1 大阪南港トンネル位置図

* 正会員 大阪市港湾局幹線道路建設事務所

** 正会員 (株)オリエンタルコンサルタンツ

けて、トンネル縦断方向の応答解析を行い、その結果から躯体と継手の設計を行ったのでその内容について報告するものである。

2. 縦断方向の設計

2・1 縦断方向の設計概要

南港側陸上トンネル部の縦断方向には、換気塔から地上に向かって、次に示す技術的課題があった。

- ①若齢埋立地のため、埋立荷重はもとより換気塔荷重や駅ビル荷重により長期にわたって洪積粘土層が沈下し、完成時において図-3

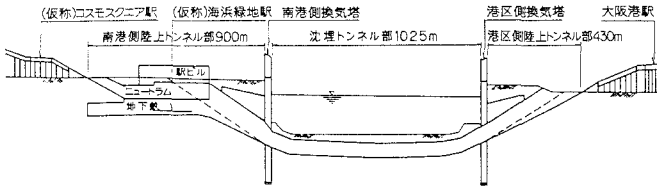


図-2 大阪南港トンネル縦断図

に示す残留沈下と不同沈下が生じることが予測される。なお、この沈下量は3次元的な応力分散を考慮して、1次元圧密沈下計算により求めた。

- ②図-3に示すように、沖積粘土層の地盤改良工法が異なる。
- ③図-4に示すように、各所で断面構造が異なり、トンネル剛性が変化する。
- ④②、③により地震発生時の振動特性が異なり地震対応が必要となる。
- ⑤トンネル内換気により躯体に年間を通じて温度変化(±10℃)が生じる。

このため、連続構造のトンネルにすると過大な応力がトンネル躯体に発生し、ひびわれの増大による耐久性不足、漏水、地下鉄軌道部の凸凹等が心配された。

本設計では断面構造及び土質の変化位置に適宜継手を設け、発生応力の軽減を計った。この設計手法としてバネ支持した梁モデルにより、①沈下応答解析、②地震応答解析、③温度応答解析を行った。なお、地震応答解析では入力地震動¹⁾として、八戸波(1968年十勝沖地震、NS成分)、エルセントロ波(1940年 Imperial Valley 地震、NA成分)を用いた。

継手部には不同沈下及び地震による変位が生じることから、可撓性止水ゴムと新しく開発したせん断抵抗用鋼棒を設置した。

2・2 設計フロー

図-5に縦断方向設計フローを示す。

2・3 縦断方向設計モデル

トンネル躯体は所定の断面剛性を持つ梁部材とし、周辺地盤をバネ評価し設計モデル化を行った。図-6に地震時設計モデルの例²⁾を示す。沈下応答解析時は残留沈下量を強制変位として与えた。

継手部は軸力、曲げモーメントを伝達せずせん断力のみ伝える構造とする。

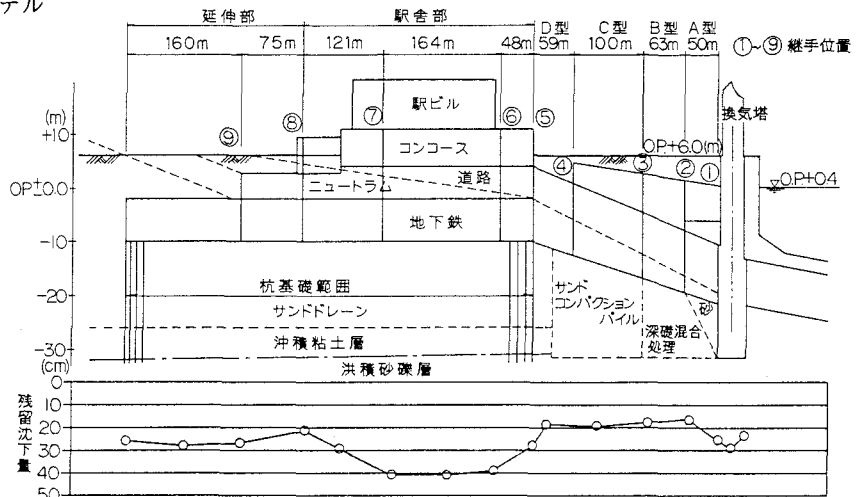


図-3 南港側陸上トンネル部縦断図及び残留沈下曲線

2・4 計算ケース

表-1に縦断方向方向計算ケースを示す。

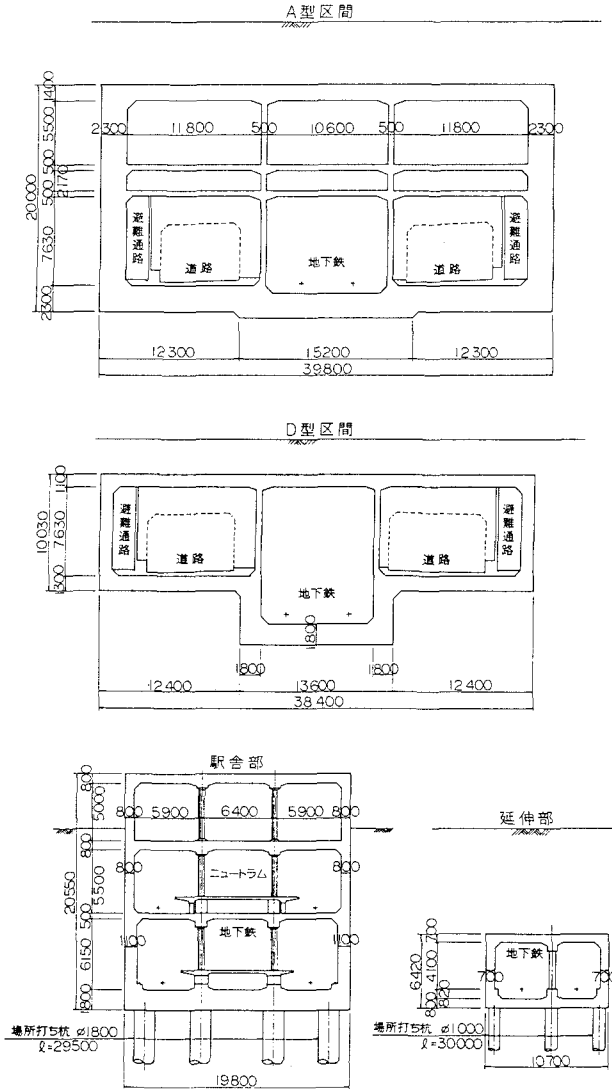


図-4 代表的な断面図

表-1 縦断方向計算ケース

曲げモーメントの方向	ケースNO.	考慮する応答値		許容応力度の割り増し
		曲げモーメント	軸力	
鉛直曲げ	ケース1	沈下応答	-	1.0
	ケース2	沈下応答	温度応答	1.15
	ケース3	沈下応答	地震応答	1.5
水平曲げ	ケース4	地震応答	-	1.5
	ケース5	地震応答	地震応答	1.5

注) 地震による軸力と曲げモーメントを同時に考慮する場合は最大値が同時に発生しないことを考え、最大値を $1/\sqrt{2}$ して用いる。

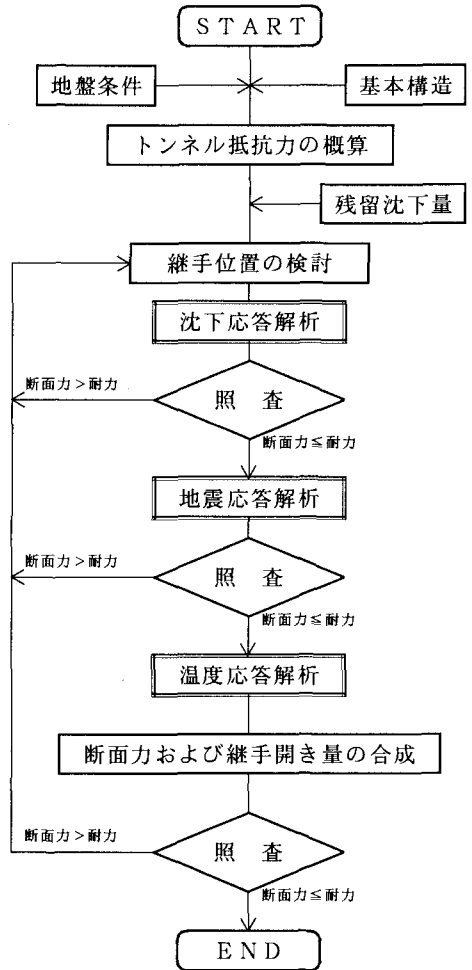


図-5 縦断方向設計フロー

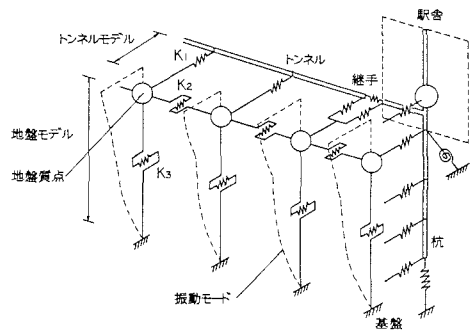


図-6 地震時設計モデル

3. 縦断方向設計結果

縦断方向計画として、断面構造の変化、地盤改良の変化を考慮し、図-3に示す①～⑨の9箇所継手を設定した。縦断方向の断面力計算結果の一例として、図-7、8に沈下時及び地震時の曲げモーメント、せん断力を示す。駅舎部では、機能上から2箇所(⑥、⑦)しか継手を設けられず、他の断面に比べてかなり大きな断面力が生じている。

3・1 躯体の設計

トンネル躯体の設計は、上記の断面力から鉄筋コンクリート中空断面として断面設計を行った。鉛直曲げモーメントと軸力に対しては上下床版、水平曲げモーメントと軸力に対しては側壁で抵抗させた。表-2に、横断面設計から求められた、いわゆる主鉄筋に対しての配力筋(主鉄筋量の1/5程度)と、縦断方向設計計算から求められた軸方向鉄筋の比較を示す。

せん断力に対しては躯体コンクリートのせん断抵抗だけで対応できた。

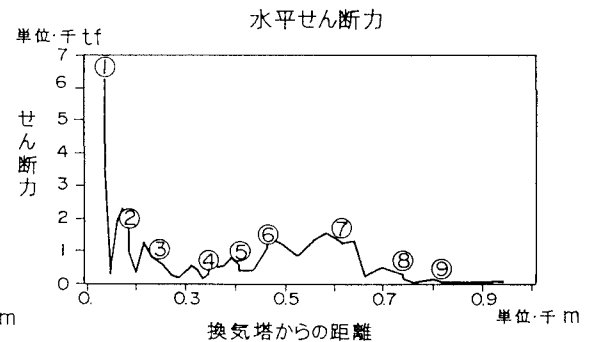
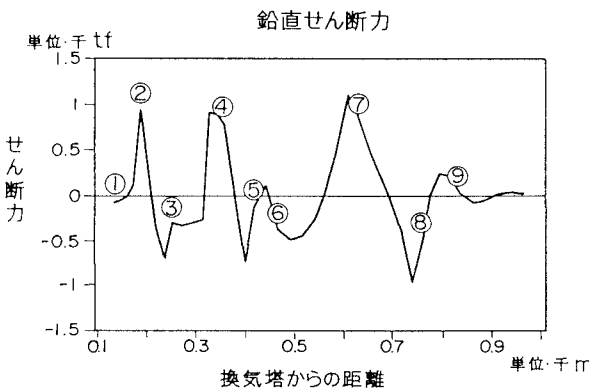
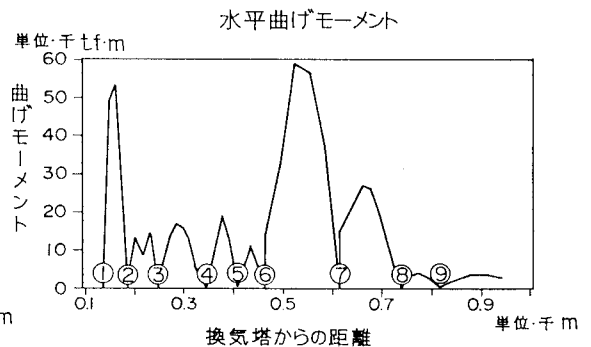
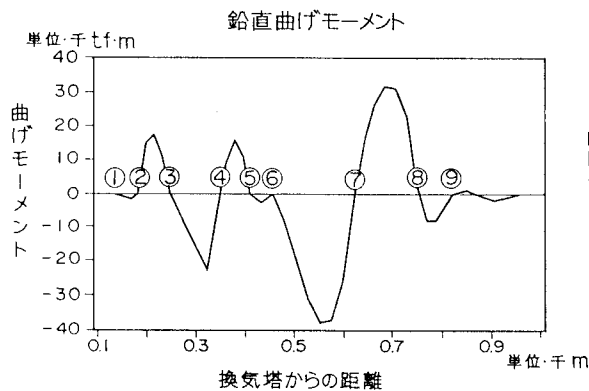


図-7 沈下時断面力

図-8 地震時断面力

表-2 軸方向鉄筋径比較表

鉄筋ピッチ ctc 250mm

断面	A型断面			D型断面			駅舎部			延伸部			
	計算ケース	断面配力筋	縦断方向解析実配筋	断面配力筋	縦断方向解析実配筋	断面配力筋	縦断方向解析実配筋	断面配力筋	縦断方向解析実配筋	断面配力筋	縦断方向解析実配筋		
上床版		D19	D16	D19	D22	D22	D22	D19	D16	D19	D16	D25	D25
下床版		D22	D16	D22	D22	D16	D22	D22	D38	D38	D16	D25	D25
側壁		D22	D22	D22	D19	D25	D25	D22	D35	D35	D16	D32	D32

3・2 継手の設計

縦断方向の設計結果より継手の設計を行った。図-9に継手構造の一例を示す。継手部の変位と外水圧に対しては、可撓性止水ゴムを躯体の内側と外側の二重に設置した。せん断力に対しては、躯体のズレを防止するせん断抵抗用鋼棒（以下、スリップバー）を設置した。

また、継手部の変位量は継手部角変化と縦断方向移動量から算定している。

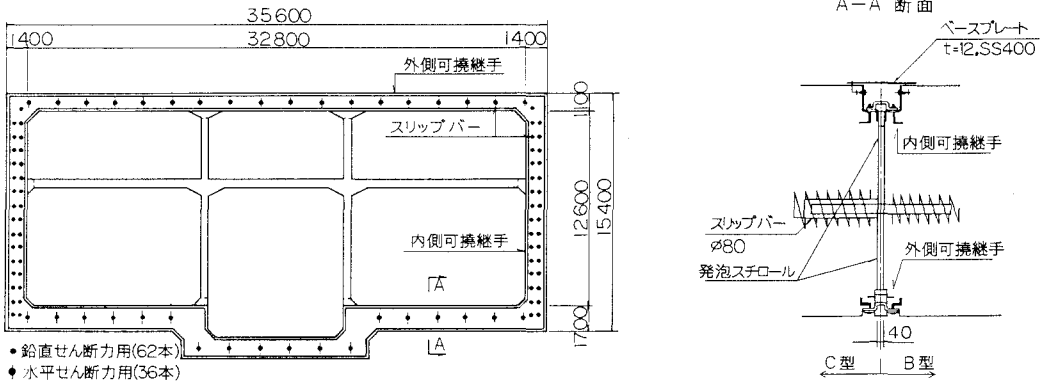


図-9 ③継手構造図

(a) 遊間の設定

遊間は沈下、地震及び温度変化により生じる継手部の変位に対して、図-10に示すようにトンネル躯体が互いに接触しないような間隔に設定した。

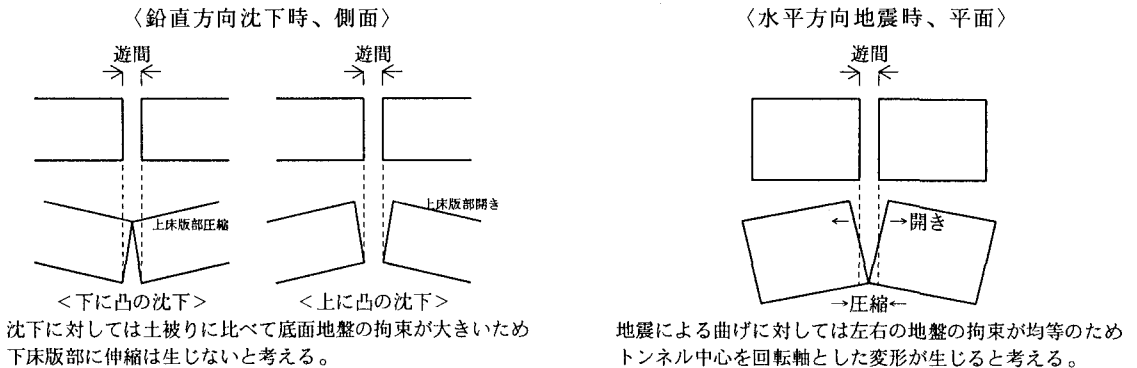


図-10 遊間の設定方法

(b) スリップバーの設計

スリップバーの設計はせん断力だけでなく、遊間の関係から曲げモーメントも作用するものとして設計した。スリップバーによるせん断抵抗は、図-11に示すように水平せん断力に対し上下床版、鉛直せん断力に対し側壁、に各々配置されたスリップバーが均等にせん断力を分担するものとしている。そのため、図-12に示すつば付きさや管方式のスリップバーを新しく開発した。この構造により、鉛直・水平方向のせん断力を分離し、さらに不均等なせん断力が作用してもスリップバー周囲のコンクリートの圧壊を防止する。

表-3に各継手位置での可撓性止水ゴム及びスリップバーの設計結果を示す。

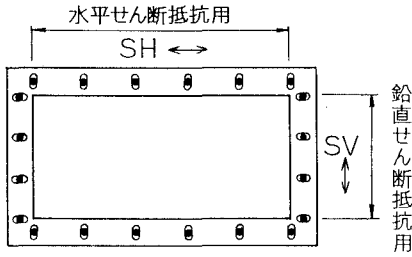


図-11 スリッパ取付け略図

表-3 継手設計結果

継手			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
可ゴ	継手遊間	mm	150	40	40	50	60	120	120	60	50	
撓性の	継手遊間	伸び	mm	29	44	24	43	83	52	61	83	34
		縮み	mm	132	12	20	35	43	107	88	41	36
止設水計	止水	伸縮	mm	150	50	50	50	100	150	100	100	50
		ゴム性能	水圧 kgf/cm ²	2.5	2.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
スバ	常時鉛直せん断力	tf	70	210	722	860	520	170	950	660	160	
	地震水平せん断力	tf	6240	1610	620	310	570	1120	1270	280	70	
ッの	スリッパ径(SS400)	mm	-	90	80	95	95	95	110	95	90	
ブ設	鉛直抵抗本数	本	-	22	62	66	50	18	68	62	12	
		水平抵抗本数	本	-	82	36	16	36	81	62	18	4

注) 継手①は鉄筋コンクリートのせん断キラーを採用しているためスリッパの設計は省略する。

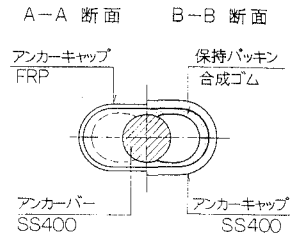
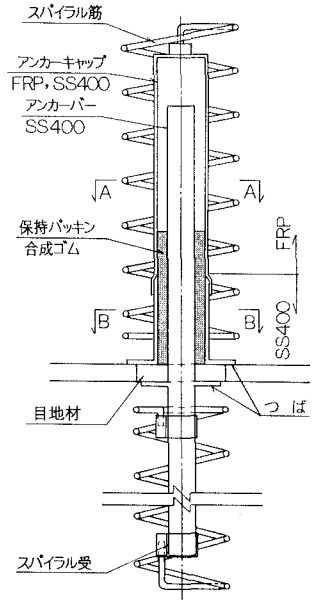


図-12 スリッパ構造図

4. あとがき

大阪南港トンネルの南港側陸上トンネルの構造は、道路・鉄道併用トンネルのため各々縦断勾配が異なる、駅舎部からは地下鉄と新交通の併用断面となる、駅舎部にビル荷重が載荷される等から複雑に変化している。さらに、若齢埋立地に施工されるため、支持層以深の洪積粘土層の不同沈下が予測された。

陸上トンネル部の設計では、縦断方向の不同沈下及び地震対策として縦断方向の応答解析を用い、①躯体設計において軸方向鉄筋の設計、②構造継手設計において発生するせん断力及び変位量からスリッパ、継手遊間及び可撓性止水ゴムの設計を行った。スリッパは上下床版と側壁で水平・鉛直方向のせん断力をそれぞれ分担する構造を開発した。

最後に、本設計を行うに当たり、大阪南港トンネル技術検討委員会(委員長 長尾義三 日本大学名誉教授)、同構造専門委員会(委員長 園田恵一郎 大阪市立大学教授)をはじめとする関係各位にご指導、ご助言を頂いたことを記し、深く感謝の意を表します。

5. 参考文献

- 1) 大阪南港トンネル技術検討調査報告書「耐震設計」、運輸省第三港湾建設局、1988、2、
- 2) 田村・岡本・浜田：DYNAMIC BEHAVIOR OF A SUBMERGED TUNNEL DURING EARTHQUAKES、S50、3、東京大学生産技術研究所報告 Vol. 24. NO.5
- 3) 小島・竹村・中村・小泉：沈埋工法による大阪南港トンネルの施工、トンネル工学研究発表会論文・報告集、1993、11