

日本鉄道建設公団 東京支社 正会員 鳥取 考雄
 パシフィック・コンサルタンツ 正会員 ○林 亜紀夫

○まえがき

京葉線台場ずい道は、品川埠頭～13号埋立地間750mに計画された沈埋トンネルである。13号埋立地付近に図-4のような、地盤の不等沈下が予想される。この対策としてトンネルを、フレキシブルジョイントによって柔構造とし、函に生ずる応力の軽減を計った。このような柔構造トンネルの地震時の挙動、及びジョイントの安全性検討の目的で、本解析を行なった。

○沈埋函の構造

トンネルの標準断面は図-6に示すような小判型である。図-1の○で囲った番号の点に図-5に示すようなゴムガasketの弾力を利用するフレキシブルジョイントを設けた。ジョイント引張時のゴム面離れを防ぐ目的でPC鋼線(12T-12.4)を20組配置している。図-5の斜線部分は、函相互の相対変位を一定限度(5cm)におさえるためのストッパーであり、函の沈設後に施工する。

○震動解析モデル

トンネル付近の地盤特性を調べる目的で図-1のA点でPS検層、B点で常時微動観測を行なった。この結果より想定した地盤の弾性波速度と弾性係数を表-1に示す。有限要素法によって地盤のせん断振動1次周期及び固有モードを求め、同じ周期をもつ質点系を図-1に示す41の点について作り、連動するモデルとした。トンネルの自由振動は無視し、地盤モデルの挙動をバネを介してトンネルモデルに伝える。トンネルモデルは右表の3種類を考えた。ケース③

ケース①	剛構造トンネル
ケース②	フレキシブルジョイントを等価バネとして考慮
ケース③	フレキシブルジョイント+仮想ピン

はケース②を計算した結果、ケーソン～シール、ドの結合部が降伏すると考えられたので、この効果を見るために、せん断力のみを伝達するピンを、6及び35の点に仮想したケースである。フレキシブルジョイント等価バネは図-7に示すゴムガasket圧縮特性グラフにより、接線の勾配を弾性係数と考えてゴム断面の剛度に合わせた。バネ値は右表に示すとおりであるが道路トンネル等の値とくらべて幾分小さな値であるのは、断面が小さいためである。

押し引きバネ	35750 t/m
回転バネ	641600 tm/Rad
せん断バネ	4988 t/m

○結果

基盤に右表に示すような2種類の波を10秒間入力した結果を図-2・3及び表-2, 3に示す。

表中㊸の値は「八戸」に、㊹の値は「エルセントロ」による応答値である。計算の結果より、次のことがわかった。

想 定	地震波	入力最大加速度
遠地大規模	八 戸	E-W 80gal
近地中規模	エルセントロ	N-S 170gal

- 1) 中央付近のフレキシブルジョイントは、地震時曲げには効果が少ないが、軸力軽減については有効である。
- 2) ケーソン部分(岸部)の応力が大であるが、防水の目的で施工する鋼板を合成断面とするならば、トンネル全区間にわたって弾性範囲内である。(銹しろ1mmとする)
- 3) フレキシブルジョイント部分の函の相対変位は、地盤沈下による変位を合成しても、想定したストッパーの限度(5cm)以内である。

なお、このトンネル施工に先だち、フレキシブルジョイント部分の特性を検証する目的で、縮尺1/5の模型を作成し、各種荷重及び水圧を載ける実験を計画し、現在準備中である。

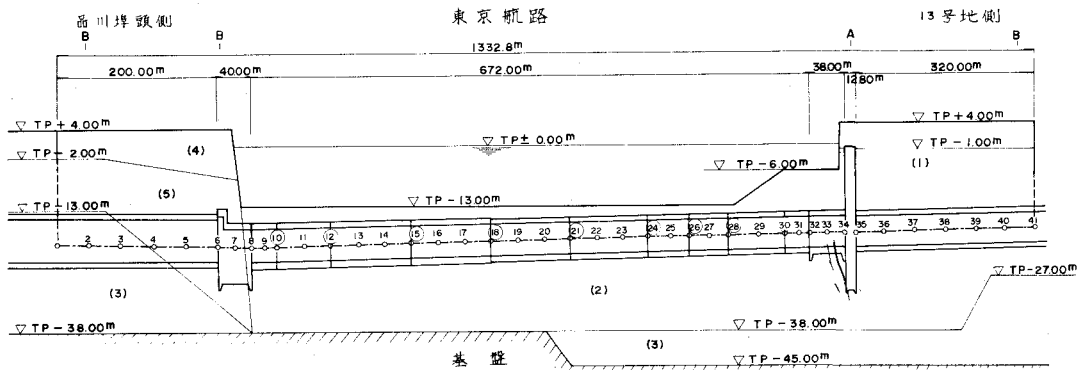


図-1

地 層	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	基 盤
Va (m/Sec)	150	110	300	180	140	700
Vp (m/Sec)	885	1250	1280	966	1578	2200
G (t/m ²)	5440	1750	15600	4959	3000	100000
地 質	近世砂層	沖積粘性土	洪積砂層	近世砂層	沖積粘性土	新第三紀シムト

表-1

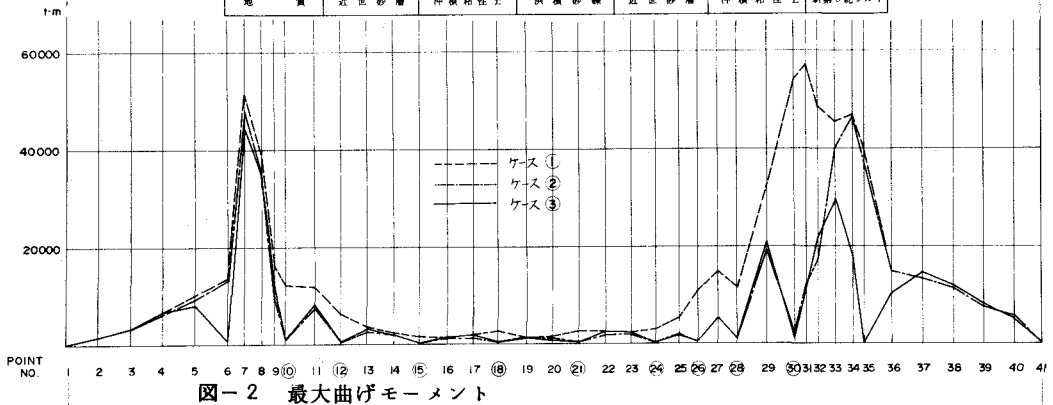


図-2 最大曲げモーメント

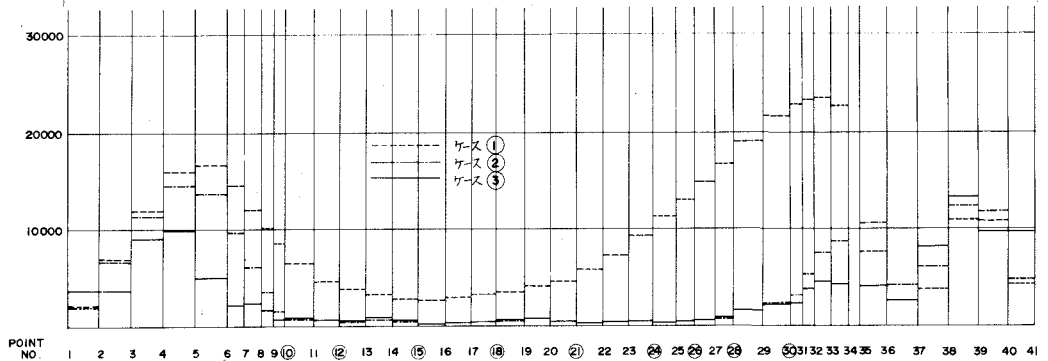


図-3 最大せん断力

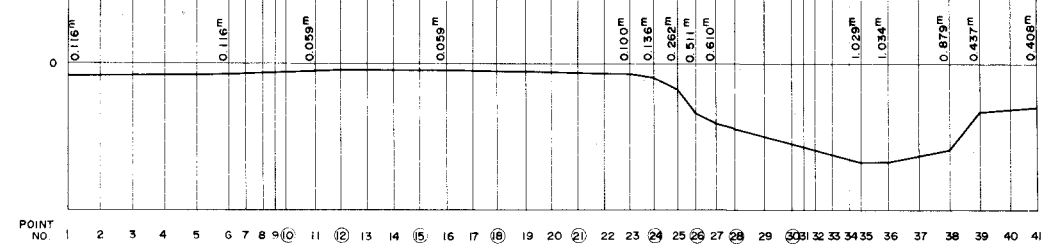
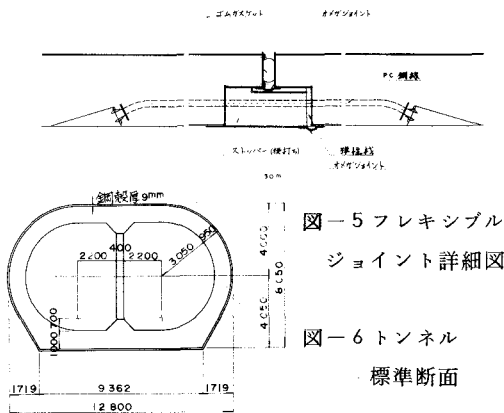
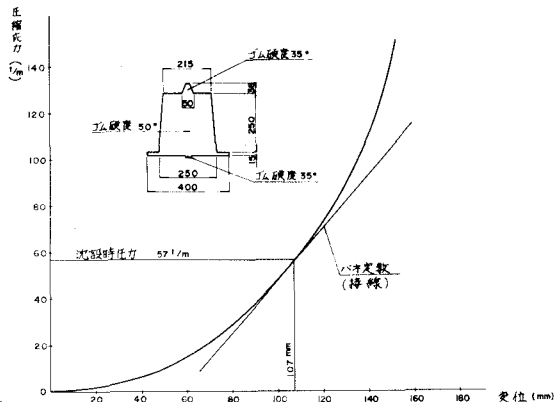


図-4 地盤の不等沈下想定(90年)



トンネルに生ずる応力及び(変位・速度・加速度)の最大値



		トンネルに生ずる最大応力度				トンネルの耐力 (弾性限度)	トンネルの変位			地表の変位		地盤の固有周期 (Sec)		
		応力成分	剛結合		柔結合		上段 軸直角方向 下段 軸方向	剛結合		柔結合			上段 軸直角方向 下段 軸方向	
			ケース①	ケース②	ケース③			ケース①	ケース②	ケース③				
ケーソン	品川埠頭側	M _{max} (t.m)	5,181.2 (H)	4,785.0 (H)	4,504.3 (H)	5,800.0	変位 (cm)	5,545 5,755	5,593 5,308	5,371 5,091	変位 (cm)	7,550 7,065	1.4	
		S _{max} (t)	2,145 (H)	1,994 (H)	1,943 (H)	3,770	速度 (cm/Sec)	5,670 2,895	3,716 2,584	3,728 3,821	速度 (cm/Sec)	50.67 53.66		
		N _{max} (t)	1,462.2 (H)	1,259.0 (H)	2,193 (H)	2,700	加速度 (cm/Sec ²)	2,413 1,925	2,438 1,805	2,420 2,600	加速度 (cm/Sec ²)	34.05 35.05		
沈埋	普通部	M _{max} (t.m)	5,685.9 (H)	3,393.0 (H)	3,316.5 (H)	4,520.0	変位 (cm)	5,494 4,957	5,701 5,470	5,483 5,471	変位 (cm)	6,776 7,060	0.9	
		S _{max} (t)	1,799.24 (H)	1,512.2 (H)	1,508 (H)	2,500	速度 (cm/Sec)	4,009 3,584	4,016 4,007	4,016 4,008	速度 (cm/Sec)	46.66 52.08		
		N _{max} (t)	4,327.5 (H)	5,373 (H)	3,671 (H)	1,619.0	加速度 (cm/Sec ²)	2,507 2,274	2,514 2,514	2,514 2,515	加速度 (cm/Sec ²)	28.66 34.58		
	柔軟手前部	M _{max} (t.m)	—	1,094 (H)	1,083 (H)	相対変位を参照								
		S _{max} (t)	—	22 (H)	3 (H)									
		N _{max} (t)	—	1,686 (H)	1,436 (H)									
ケーソン	13号埋立地側	M _{max} (t.m)	4,816.6 (H)	4,713.0 (H)	2,959.2 (H)	8,010.0	変位 (cm)	6,151 4,384	6,148 4,538	6,292 5,208	変位 (cm)	8,880 7,205	1.4	
		S _{max} (t)	2,350 (H)	1,165 (H)	1,064 (H)	4,236	速度 (cm/Sec)	5,295 2,280	5,298 2,382	5,387 2,634	速度 (cm/Sec)	47.90 55.67		
		N _{max} (t)	2,338.5 (H)	8,758 (H)	4,519 (H)	6,923	加速度 (cm/Sec ²)	15.02 12.20	15.03 9.700	15.12 11.42	加速度 (cm/Sec ²)	19.90 18.55		

柔軟部部分の最大相対変位

表-2

沈埋 順 番 号	液 手 モ デ ル 番 号	地 震 に よ る 相 対 変 位 (A)				地盤の不等沈下による相対変位 (B)			A/Bの合成による最大相対変位	
		軸 直 角 水平方向変位	軸 方 向 変 位	水 平 方 向 回 転 角	Zとθの合成 による軸方向 最大変位	軸 方 向 垂直方向変位	垂 直 方 向 回 転 角	θによる軸方向 最大変位	軸 方 向 最大 相 対 変 位	軸 直 角 方 向 最大相対変位
		X (cm)	Z (cm)	θx (Rad)	(cm)	Y (cm)	θy (Rad)	(cm)	ΔXmax (cm)	Δxy max (cm)
1	10	0.654 (E)	1.049 (E)	0.000327 (H)	1.235	0.133	0.000045	0.016	1.237	0.667
	18	0.115 (E)	0.722 (E)	0.000142 (E)	0.803	0.037	0.000306	0.115	0.877	0.119
2	19	0.033 (H)	0.346 (H)	0.000056 (H)	0.379	0.083	0.000066	0.025	0.390	0.089
3	19	0.024 (H)	0.565 (H)	0.000069 (H)	0.607	0.055	0.000022	0.008	0.609	0.060
4	21	0.024 (H)	0.401 (H)	0.000073 (H)	0.444	0.277	0.000841	0.317	0.736	0.278
5	24	0.050 (H)	0.544 (H)	0.000079 (H)	0.592	1.031	0.005615	2.120	2.685	1.032
	26	0.095 (H)	0.795 (H)	0.000234 (H)	0.935	2.747	0.004640	1.752	2.605	2.749
6	28	0.561 (H)	1.563 (H)	0.000246 (H)	1.721	1.116	0.000894	0.337	1.804	1.173
7	39	0.532 (H)	3.369 (H)	0.000926 (H)	4.085	0.708	0.000310	0.120	4.109	0.886

表-3

本解析にあたって、東京大学生産技術研究所、田村重四郎助教授の助言を頂いた。ここに紙面をかりて感謝します。