

最大級シナリオ地震動に対する地中構造物の耐震安全性検討

篠原 聖二¹・西岡 勉²

¹阪神高速道路株式会社 技術部技術開発グループ（〒541-0056大阪市中央区久太郎町4-1-3）

²正会員 阪神高速道路株式会社 技術部技術開発グループ（〒541-0056大阪市中央区久太郎町4-1-3）

1. はじめに

近年、建設地点周辺の活断層の調査結果等に基づき、断層モデルを用いて設計地震動を算定する手法が開発されつつある。道路橋示方書¹⁾においても、建設地点周辺における過去の地震情報、活断層情報、プレート境界で発生する地震の情報、地下構造に関する情報、建設地点の地盤条件に関する情報、既往の強震記録等を考慮して建設地点における設計地震動を適切に推定できる場合には、これに基づいて設計地震動を設定するものと規定されている。

阪神高速道路大和川線（以下、大和川線）は、ほぼ全線がシールドトンネルもしくは開削トンネルといった地中構造物であり、また、上町断層系を横断する形で路線が計画されている。よって大和川線の道路構造物の設計にあたっては、上町断層系により生じる地震動を考慮する必要があると考えられる。上町断層系を含む大阪堆積盆地では、平成7年兵庫県南部地震を契機とした断層および地盤構造調査が精力的に実施され、そのデータは着実に蓄積・更新されている。近年になって、国の地震調査研究（文部科学省地震調査研究推進本部）および地震被害想定（内閣府中央防災会議）、また、自治体の地震被害想定（大阪府など）が大阪平野および周辺活断層に対して実施されている。

一方、断層モデルを用いて設計地震動を算出する場合、アスペリティの配置や破壊開始点の位置等の断層破壊シナリオの設定によって、表層付近で得られる地震動の大きさや特性が大きく異なる場合がある。今般、上町断層系が破壊したときの想定地震動を算出したところ、このアスペリティの配置や破壊開始点の位置によっては、対象表層地盤の固有周期帯において、阪神高速道路（株）が「開削トンネル耐震設計指針」²⁾で定める加速度応答スペクトルを大きく上回る可能性があることが判明した。この想定

地震動を最大級シナリオ地震動と定義する。

本論では、この最大級シナリオ地震動の算定方法について述べた後、算定した地震動を用いて、大和川線の地中構造物を対象に、その耐震安全性について検討を行った結果について報告する。

2. 最大級シナリオ地震動の算定

(1) 断層破壊シナリオ

対象路線である大和川線は、図-1に示すように、上町断層系を横断する形で計画されている。本検討では、上町断層系を仏念寺山断層、上町断層、南部上町断層、汐見橋撓曲、住之江撓曲からなる断層モデルとして作成し、上町断層全体系が破壊するモデル、北部（仏念寺・上町・汐見橋）が破壊するモデル、上町断層のみが破壊するモデル、南部（南部上町・住之江）が破壊するモデルの4ケースを断層破壊モデルとして設定した。4ケースの断層モデルの諸元を表-1に示す。

ここに地震規模（地震モーメント）は、Somerville et al.(1999)³⁾によって地震断層の面積から

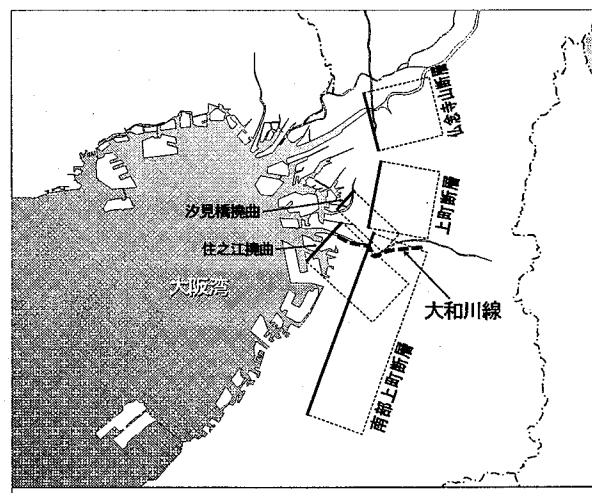


図-1 上町断層系と大和川線

想定している。想定マグニチュードは武村(1990)の式⁴⁾を用いることにより気象庁マグニチュード(M_J)を得ることができる。また、上町断層系はいずれも純粋な逆断層を想定している。一般に逆断層による地震動は傾斜が高角であるほど水平動が大きくなる傾向がある。そこで、断層傾斜は逆断層として物理的に許容できるもののうち、高角側の設定である60度としている。

一方、断層破壊シナリオは、断層破壊モデルの各ケースでアスペリティと破壊開始点の設定を変えた計28通りを設定し、強震動予測手法により、対象路線に大きな影響を及ぼすと考えられる断層破壊シナリオを設定する。図-2に各ケースの断層モデル、アスペリティ(濃いハッチング)、破壊開始点(丸数字)を示す。同図は断層を西側から見たもので、図の左側が北、右側が南、図の上側が断層上面とし

てモデル化しており、最小セグメントの寸法は2km×2kmである。アスペリティの深さについては、強震動を生成するアスペリティは深部に存在する傾向があるものの、地表に痕跡を残す地震では浅いアスペリティも考えられるため、やや安全側の設定として強震動を生成するアスペリティを中央よりやや浅めに置いた。また、破壊開始点深さは、アスペリティの下端付近とし、平成7年兵庫県南部地震を参考に約18kmとした。破壊開始点水平位置は、対象地点へのアスペリティの影響を考慮し、北・南から破壊が始まるパターンと中央のアスペリティ付近から始まる場合を想定した。

表-1 想定上町断層系の諸元

設定	断層	長さ(km)	幅(km)	走向(度)	傾斜(度)	すべり角(度)	総地震モーメント(N・m)	規模(M_J/M_w)	総地震モーメント(N・m)	立ち上がり時間(秒)
Case I (全断層系)	仏念寺山断層	8	22	-16.2	60	90	3.89×10^{19}	7.4/7.0	0.58×10^{19}	1.5
	上町断層	12	22	7.4	60	90			0.86×10^{19}	
	南部上町断層	24	22	21.4	60	90			1.72×10^{19}	
	汐見橋撓曲	4	22	48.4	60	90			0.29×10^{19}	
	住之江撓曲	6	22	55.8	60	90			0.44×10^{19}	
Case II (北部のみ)	仏念寺山断層	8	22	-16.2	60	90	1.15×10^{19}	7.0/6.6	0.38×10^{19}	0.99
	上町断層	12	22	7.4	60	90			0.58×10^{19}	
	汐見橋撓曲	4	22	48.4	60	90			0.19×10^{19}	
Case III (上町のみ)	上町断層	12	12	7.4	60	90	1.64×10^{18}	6.3/6.1	1.64×10^{18}	0.52
Case IV (南部のみ)	南部上町断層	24	22	21.4	60	90	1.61×10^{19}	7.1/6.7	1.29×10^{19}	1.1
	住之江撓曲	6	22	55.8	60	90			0.32×10^{19}	

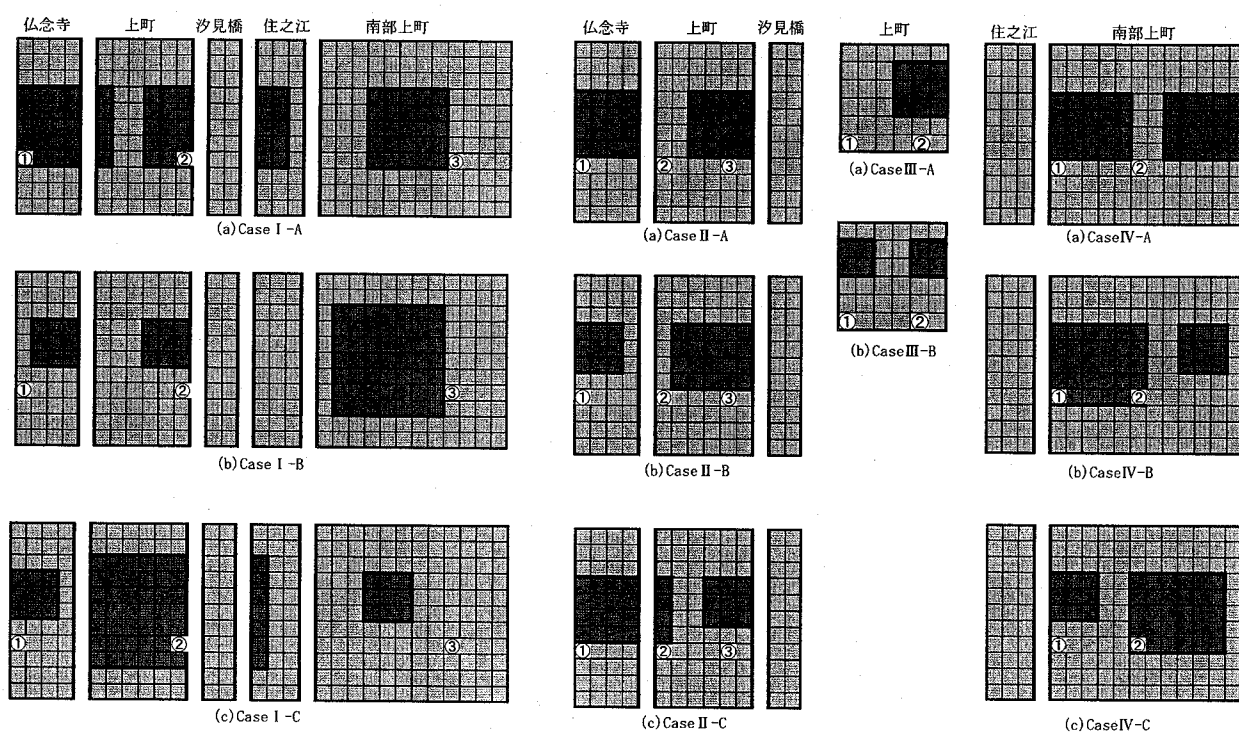


図-3 破壊開始点とアスペリティの設定

(2) 強震動評価手法

断層破壊シナリオ選定のための強震動評価は、3次元的な波動伝播を考慮するため、地盤モデルに宮腰ら⁵⁾によってモデル化された大阪平野の基盤深度構造モデル(表-2、図-3)を用いて、疑似ハイブリッド法により実施した。なお、強震動の評価は、非線形応答の影響が少ない工学的基盤面相当層(表-2のB層)で行った。3次元差分法^{6)、7)}による強震動予測は、逐次計算において断層破壊の進行を考慮し、断層面から放射される地震動を厳密に評価することができる(図-4 考え方1)。しかし、ここでは簡易的な手法として、断層面の一点に点震源を配置し、3次元差分法により長周期の要素地震動を計算する手法を用いた(図-4 考え方2)。この手法を用いると、断層面のいくつかの点震源でこの計算を実施し、個々の計算結果を足し合わせることで、想定大地震動を計算できる。

(3) 断層破壊シナリオの選定

各断層破壊シナリオ(28ケース)を対象に、対象路線の代表4地点で強震動評価を実施し、対象路線に大きな影響を及ぼすと考えられる断層破壊シナリオを選定した。強震動評価地点は、図-5に示す対象路線の湾岸線接続部(A地点)、堺線交差部(B地点)、阪和線交差部(C地点)、松原線接続部(D地点)の合計4地点を設定した。各地点・各シナリオの計算結果(SI値(0.5s~2.0s))を表-3に示す。なお、地点A、Bの2地点における固有値解析の結果より、地盤の固有周期は1.5s及び1.2sであることから、SI値

表-2 地盤モデルの諸元

地層	Vp (km/s)	Vs (km/s)	ρ ($\times 10^3$ kg/m ³)
A	1.60	0.35	1.7
B	1.80	0.55	1.8
C	2.50	1.00	2.1
D (Baseroack)	5.40	3.20	2.7

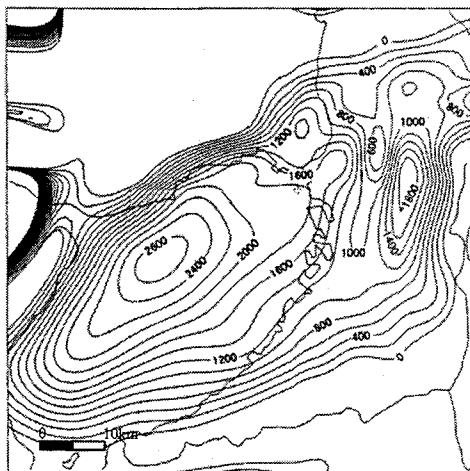


図-3 大阪平野の基盤深度構造モデル
(基盤岩深度)⁵⁾

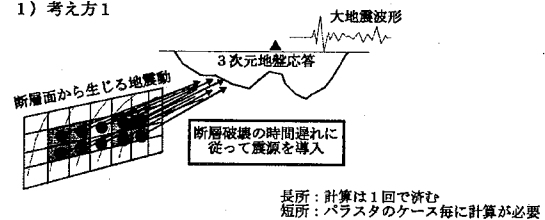
の計算範囲を0.5s~2.0sに設定した。大和川線地中構造物の耐震安全性検討で用いる断層破壊シナリオは、SI値(NS成分とEW成分のベクトル和)の大きいケースを選定することとした。

各地点におけるSI値が最大となるケースを選定すると、I-A-3、I-B-2の2ケースとなる。さらに比較的大きなSI値を示したIVシリーズの中からIV-B-2、IV-C-2の2ケースを選定し、計4ケースを大和川線地中構造物により大きな影響を及ぼす可能性があるケースとして選定した。

(4) ゾーニングと耐震設計上の基盤面

ゾーニングは、大和川線縦断方向の地質構成、構造形式、深度から区分することとする。ゾーン区分を図-6に示す。ゾーンIとゾーンIIの境界は、地層全体が深度方向に変化すること、構造形式がボックス構造から堀割、ボックス構造に変化することを考慮し、STA No. 143とした。また、ゾーンIIとゾーンIIIの境界は、南上町断層を境に地層構成が変化する

1) 考え方1



2) 考え方2

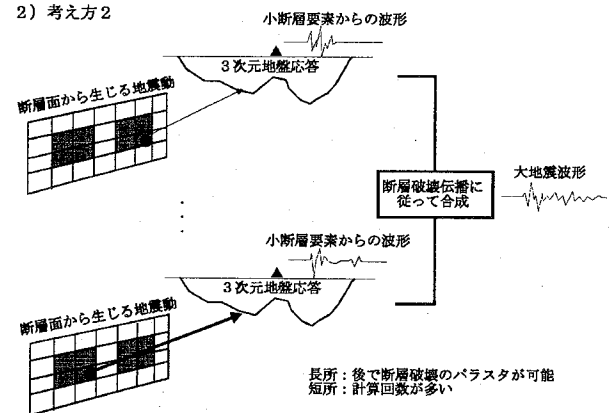


図-4 3次元差分法による強震動予測手法

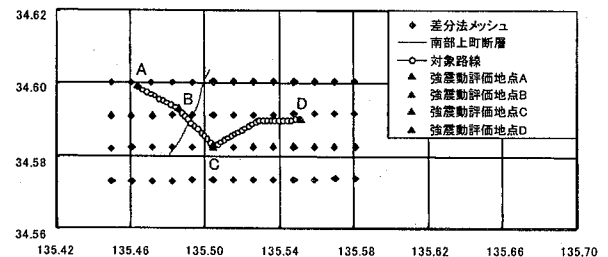


図-5 地震動評価地点

こと、立坑を境に開削トンネル区間とシールドトンネル区間に分かれることを考慮し、STA No. 223とした。ゾーンⅢとゾーンⅣの境界は、地層全体が深度方向に変化すること、地質が段丘地帯から扇状地性

低地に変化することを考慮し、STA No. 347とした。耐震設計上の基盤面は、過年度に実施された6地点のP S検層結果⁸⁾から、 $V_s \geq 300\text{m/s}$ となる位置で、大和川線の深度以深となるように設定する。

(5) 設計入力地震動の策定

設計入力地震動の策定手順を図-7に示す。ここでは、長周期領域の地震動を図-4の「考え方1」に基づく3次元差分法によって計算し、これを短周期領域における統計的グリーン関数法⁹⁾による計算結果とハイブリッド合成することにより工学的基盤面における地震動を算定する。ハイブリッド法により得られた地震動は、ある断層破壊パターンの下による波形であり、地震の規模、震央距離、地盤条件等を考慮して求めたものであるが、一方では地震は1回毎にランダムな特性を有している。したがって、その細かい特性までを尊重する必要はなく、動的解析に用いる地震動を定めるためには、地震動の平均的な特性を表現することが重要であり、ここでは、ハイブリッド法により得られた地震動から各ゾーンで標準加速度スペクトルを求め、標準加速度スペクトルに近い特性を有する地震動を求める。

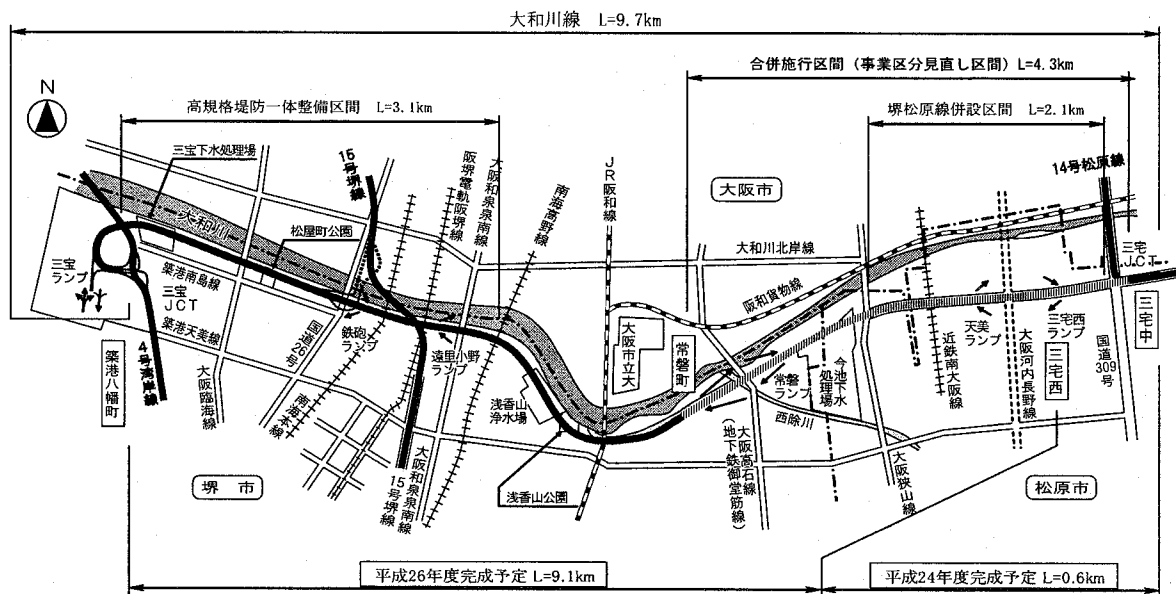
① 標準加速度応答スペクトルの設定

標準加速度応答スペクトルは、各ゾーンの各地点、

図-3 各評価地点におけるS I値一覧

ケース	湾岸線接続部 (A地点)	堺線交差部 (B地点)	阪和線交差部 (C地点)	松原線接続部 (D地点)
	SI(0.5-2.0s) SUM	SI(0.5-2.0s) SUM	SI(0.5-2.0s) SUM	SI(0.5-2.0s) SUM
1 I-A-1	99.04	114.99	96.01	67.50
2 I-A-2	128.10	111.63	107.33	77.55
3 I-A-3	187.07	179.60	129.06	103.72
4 I-B-1	134.49	132.37	135.29	87.79
5 I-B-2	151.57	133.51	168.51	103.03
6 I-B-3	161.28	156.71	166.84	100.94
7 I-C-1	109.77	96.29	129.13	73.65
8 I-C-2	129.61	131.97	113.71	99.03
9 I-C-3	176.12	176.44	156.48	79.01
10 II-A-1	45.65	56.76	50.90	34.92
11 II-A-2	58.12	56.61	52.07	48.19
12 II-A-3	38.02	30.57	32.94	28.16
13 II-B-1	52.95	31.96	47.68	39.46
14 II-B-2	58.45	55.04	53.05	48.51
15 II-B-3	38.76	34.18	30.64	30.65
16 II-C-1	48.83	49.13	45.78	41.37
17 II-C-2	56.96	49.59	48.87	47.45
18 II-C-3	38.05	32.32	34.42	35.65
19 III-A-1	62.03	61.94	44.58	40.71
20 III-A-2	56.02	49.25	43.64	25.93
21 III-B-1	57.81	58.54	40.69	34.53
22 III-B-2	56.68	51.12	43.58	30.86
23 IV-A-1	147.51	134.45	112.93	67.32
24 IV-A-2	180.55	162.09	112.95	65.74
25 IV-B-1	156.19	148.10	130.99	76.10
26 IV-B-2	184.64	163.84	135.75	65.00
27 IV-C-1	117.60	152.56	115.69	66.24
28 IV-C-2	172.63	157.93	139.90	81.91

□ : 設計用地震動選定ケース



ゾーン区分	ゾーンⅠ	ゾーンⅡ	ゾーンⅢ	ゾーンⅣ
STA.No	No.76~No.143	No.143~No.223	No.223~No.347	No.347~No.527
工区	三宅工区	— 遠里小野	シールド工区 常磐	—
検討断面	1~4	— 5~11	12~17 18~24	—
構造形式	開削トンネル		シールドトンネル 開削	シールド 開削 シールド 開削 土工 橋梁
地質	沖積低地		段丘地帯	扇状地性低地
基盤面	Dc4層下面	TP-40m	Dc6層下面	TP-40m

南部上町断層交差位置

図-6 大和川線のゾーン区分

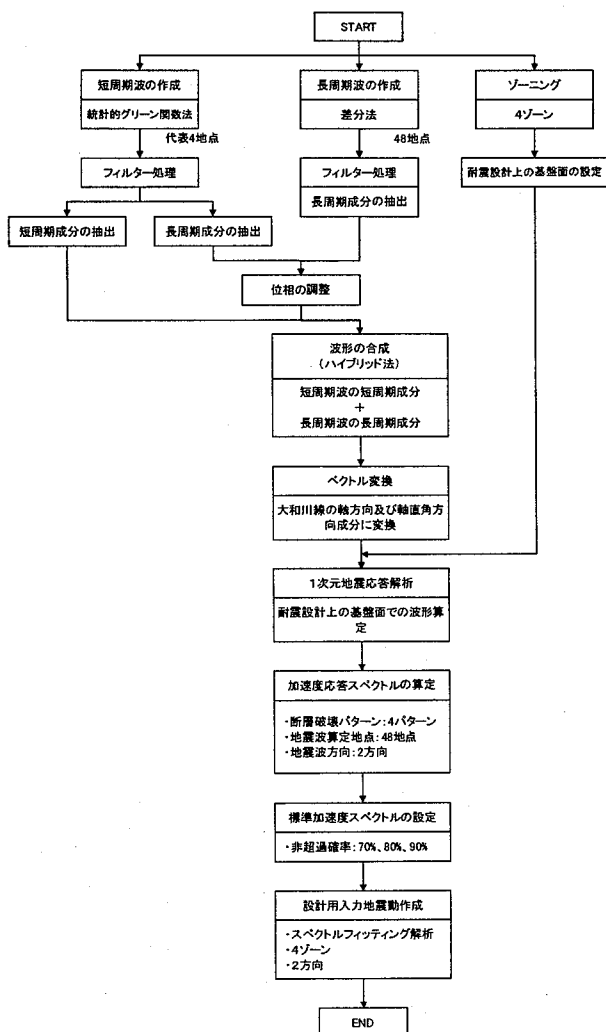


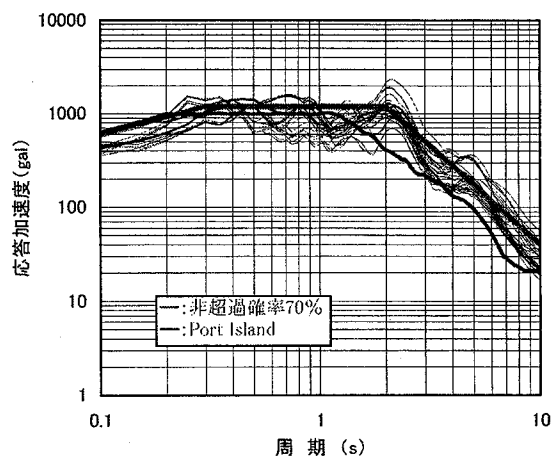
図-7 設計用地震動設定手順

各シナリオの波形について算定した加速度応答スペクトル上で、0.3 秒～2.0 秒の範囲における応答加速度の頻度を整理し、非超過確率が 70%，80%，90% の場合の加速度を求め、その加速度を当該時間範囲の応答加速度として設定する。

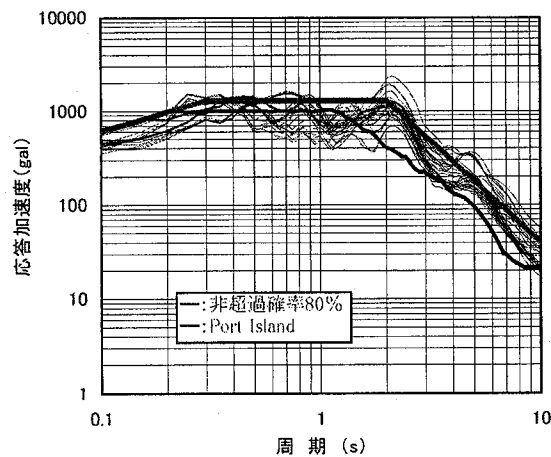
ゾーン I の軸直角方向における各非超過確率毎の標準加速度スペクトルの設定を図-8 に示す。ゾーン I の加速度応答スペクトルの特性としては、周期 2s 付近にピークがあるが、非超過確率 70%，80% の設定では、この特性を十分考慮できていないことから、本検討では非超過確率 90% の設定を標準加速度応答スペクトルとする。

②設計用入力地震動の作成

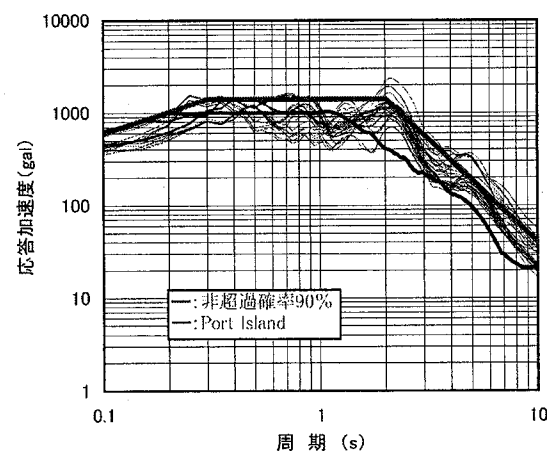
計算波形をもとに標準加速度応答スペクトルに近い特性を有する地震波を求める方法には種々の方法があるが、工学的に有用な方法として、計算波形の振幅特性を振動数領域において変化させる方法がある。ただし、この手法を用いれば、任意の波形を任意のスペクトル特性を有するように振幅調整することが可能であるが、特性を全く変えることは得られ



(a) 非超過確率 70%



(b) 非超過確率 80%



(c) 非超過確率 90%

図-8 各非超過確率毎の加速度応答スペクトル (ゾーン I)

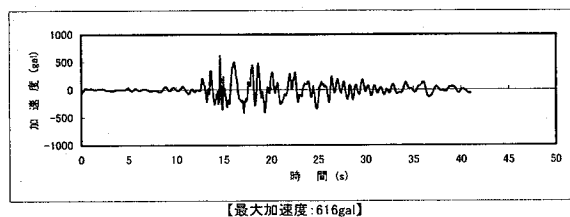


図-9 設計用地震動 (ゾーン I)

た波形としての物理的意味を損なうことになる。これを防ぐためには、振幅の調整量をできるだけ小さなものにするために、振幅調整しようとする波形のスペクトル特性がもともと目標とする標準加速度応答スペクトルに近似した特性を有していることが必要である。そこで、①で設定した標準加速度応答スペクトル特性に最も近い形状を有する元波形を基本に振幅調整を実施した。ゾーンⅠの標準加速度応答スペクトルを目標とし、振幅調整した時刻歴波形を図-9に示す。

3. 大和川線地中構造物の耐震安全性検討

既往の設計成果における設計断面から、断層の位置関係、構造条件、地盤条件を踏まえ、検討断面を選定し、最大級シナリオ地震時の横断方向耐震検討を実施した。

(1) 照査断面の抽出

照査対象断面は、既往の設計における検討断面（図-6参照）を対象に、1次元の地盤の地震応答解析を実施し、地中構造物横断面に最も影響の大きい位置を選定した。なお、選定は図-10に示すように地中構造物頂底板間の層間変形角が大きい位置とした。

表-3に各地点の地盤の地震応答解析結果を示す。層間変形角の最大値はゾーンⅠの断面番号3において1.36/50となった。これは、耐震設計指針²⁾に規定のある構造物の層間変形角の許容値1/50をわずかに上回る程度であり、この時点で構造物への影響も大きくはないと推定できる。入力地震動は耐震設計指

針に示す標準スペクトルを全周期帯領域で上回るにも関わらずこのような結果になった理由については、大和川線地中構造物が硬質地盤中心の良質地盤内にあることが考えられる。

構造物の照査断面としては、設計地震動を設定したゾーン毎にトンネル頂底板間の層間変形角が大きい断面番号3（ゾーンⅠ）、断面番号10（ゾーン

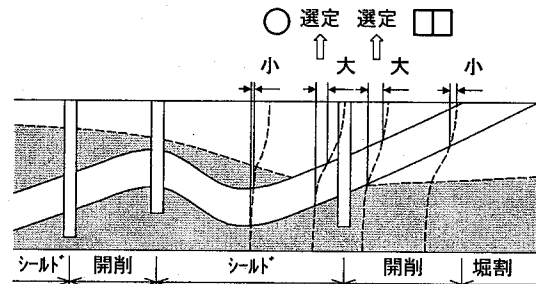


図-10 照査断面の選定概念図

地層	層厚 (m)	N値
① F	2.530	5
② As1	2.530	5
③ Ac1	5.700	2
④ Ds3	6.200	17
⑤ Ds4	4.600	42
⑥ Ds5	2.200	50
⑦ Ds5	2.200	50
⑧ Dc4	3.200	13
⑨ Ds	1.500	50
⑩ Dc	1.800	24
⑪ Ds7	9.000	50

図-11 検討条件（断面番号3）

表-3 地盤の地震応答解析結果

工区	ゾーン区分	断面番号	構造形式	測点	層間変位 (cm)	構造高 (m)	層間変形角	平均ひずみ	選定断面
三宝工区	ゾーンⅠ	1	開削	STA.98+10.00	16.09	7.60	1.06 / 50	0.021	
		2	開削	STA.98+17.80	16.03	7.60	1.05 / 50	0.021	
		3	開削	STA.101+0.00	20.83	7.65	1.36 / 50	0.027	ゾーンⅠ選定断面
		4	開削	STA.102+0.00	19.23	8.65	1.11 / 50	0.022	
遠里小野工区	ゾーンⅡ	5	開削	STA.197+3.50	1.52	7.50	0.10 / 50	0.002	
		6	開削	STA.212+8.122	10.21	7.80	0.65 / 50	0.013	
		7	開削	STA.214+15.00	4.60	7.60	0.30 / 50	0.006	
		8	開削	STA.216+0.00	0.95	8.00	0.06 / 50	0.001	
		9	開削	STA.218+5.00	0.94	8.40	0.06 / 50	0.001	
		10	開削	STA.222+0.30	10.82	8.00	0.68 / 50	0.014	ゾーンⅡ選定断面
		11	開削	STA.222+13.00	10.99	8.60	0.64 / 50	0.013	
シールド工区	ゾーンⅢ	12	シールド	STA.223+0.00	10.13	11.94	0.42 / 50	0.008	ゾーンⅢ選定断面
		13	シールド	STA.228+0.00	18.79	11.94	0.79 / 50	0.016	
		14	シールド	STA.250+0.00	15.08	11.94	0.63 / 50	0.013	
		15	シールド	STA.267+0.00	12.12	11.94	0.51 / 50	0.010	
		16	シールド	STA.275+0.00	15.63	11.94	0.65 / 50	0.013	
		17	シールド	STA.291+0.00	4.97	11.94	0.21 / 50	0.004	
常磐工区	ゾーンⅢ	18	開削	STA.326+0.00	16.06	11.94	0.67 / 50	0.013	
		19	開削	STA.333+0.00	10.85	9.40	0.58 / 50	0.012	
		20	開削	STA.335+0.00	14.21	10.30	0.69 / 50	0.014	
		21	開削	STA.336+0.00	15.54	10.90	0.71 / 50	0.014	
		22	開削	STA.339+0.00	13.40	8.80	0.76 / 50	0.015	
		23	開削	STA.340+0.00	13.51	9.00	0.75 / 50	0.015	
		24	開削	STA.341+0.00	13.65	9.30	0.73 / 50	0.015	

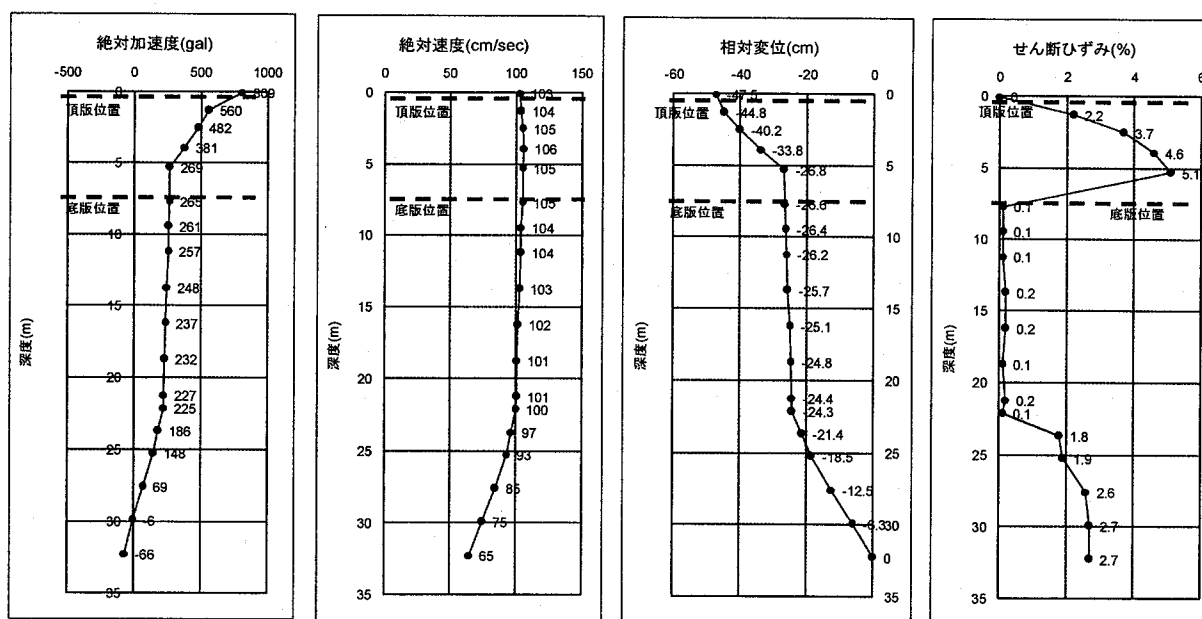


図-12 応答値深度分布 (断面番号3 (ゾーンI))

II), 断面番号12 (ゾーンIII) を選定した。本稿では, 最も層間変形角が大きかった断面番号3 (ゾーンI) の照査結果を示す。

図-12に断面番号3の地盤の地震応答解析結果 (深度分布) を示す。また, 図-13, 図-14に解放基盤面 (2E), 表層地盤を考慮した場合の基盤面 (E+F), 地表面における加速度および速度応答スペクトルをそれぞれ示す。

(2) 解析モデル

断面番号3の地盤条件を図-11に示す。照査は耐震設計指針²⁾に準拠し, 応答震度法を用いて実施する。また, 地盤は平面ひずみ要素, トンネルは非線形梁要素でモデル化し, トンネルと地盤の間をジョイント要素でモデル化する。

(3) 照査結果

照査手法については, 耐震設計指針²⁾に従い, 発生曲げモーメントに対しては, 応答塑性率が許容塑性率以下となることを照査した。なお, 許容塑性率における安全係数は道路橋示方書¹⁾を参考に1.5とした。また, せん断力については, せん断耐力以下となることを, 層間変形角については, 許容値である1/50以下となることを照査した。

図-15に断面番号3における曲げモーメント, せん断力, 層間変形角に対する照査結果を示す。同図に示すように, 中壁の上下端において, 降伏には達するものの全ての照査項目で安全性が確保される結果となった。

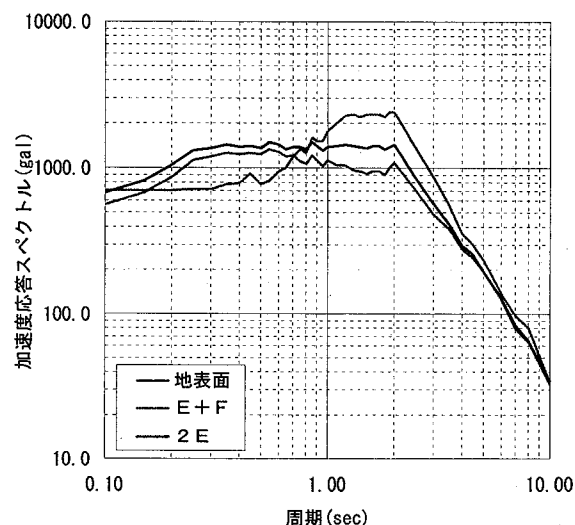


図-13 加速度応答スペクトル (断面番号3)

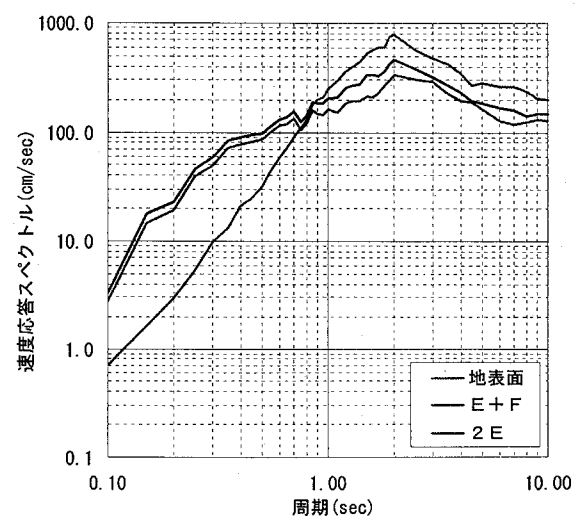


図-14 速度応答スペクトル (断面番号3)

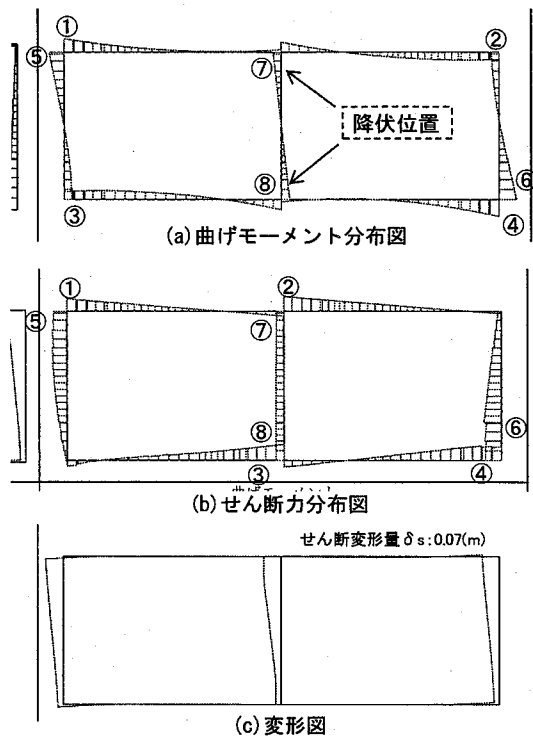


図-15 照査結果 (断面番号3 (ゾーンI))

4. まとめ

本稿では、上町断層系を破壊を考慮した最大級シナリオ地震動を用いて、大和川線の地中構造物を対象に、その耐震安全性について検討を行った。本検討で得られた主な知見を以下に示す。

- ・大和川線代表地点の層間変形角の最大値はゾーンIの断面番号3において1.36/50となった。これは、耐震設計指針²⁾に規定のある構造物の層間変形角の許容値1/50をわずかに上回る程度である。

- ・層間変形角が最大となった断面番号3において、応答震度法を用いた耐震安全性の照査を行ったところ、曲げモーメント、せん断力、層間変形角のすべての照査項目において、安全性が確保される結果となった。

- ・入力地震動は耐震設計指針に示す標準スペクトルを全周期帯領域で上回るにも関わらず、上述の結果になった理由については、大和川線地中構造物が硬質地盤中心の良質地盤内にあることに起因するものと考えられる。

今後は、ゾーンII (開削トンネル断面)、ゾーンIII (シールドトンネル断面) の対象断面についても、同様の照査を行う予定である。

参考文献

- (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2002.3.
- 阪神高速道路株式会社：開削トンネル耐震設計指針—横断方向の耐震設計—，2006.5.

(d) 曲げモーメント照査結果

照査箇所	応答塑性率	許容塑性率	判定
① 頂版左	0.569	≤ 12.495	OK
② 頂版右	0.704	≤ 13.873	OK
③ 底版左	0.631	≤ 14.431	OK
④ 底版右	0.632	≤ 14.787	OK
⑤ 左側壁	0.672	≤ 13.560	OK
⑥ 右側壁	0.927	≤ 15.198	OK
⑦ 中壁上	10.913	≤ 30.036	OK
⑧ 中壁下	10.687	≤ 54.194	OK

(e) せん断力照査結果

照査箇所	発生せん断力 (kN)	せん断耐力 (kN)	判定
① 頂版左	565.790	≤ 959.374	OK
② 頂版右	634.300	≤ 996.860	OK
③ 底版左	697.350	≤ 934.733	OK
④ 底版右	678.520	≤ 894.707	OK
⑤ 左側壁	678.890	≤ 2676.956	OK
⑥ 右側壁	776.420	≤ 2678.023	OK
⑦ 中壁上	383.360	≤ 2708.922	OK
⑧ 中壁下	396.430	≤ 2708.922	OK

(f) 層間変形角照査結果

照査箇所	層間変形角	許容値	判定
—	0.44/50	≤ 1/50	OK

- Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada: Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological. Research. Letters., 70, 59-80, 1993.
- 武村雄一・他：近畿三角地帯における主要活断層の調査結果と地震危険度，地質調査所速報，no. EQ/99/3 (平成10年度活断層・古地震研究調査報告書)，285-309, 1990
- Graves, R. W.: Simulating Seismic Wave Propagation in 3D Elastic Media Using Staggered-Grid Finite Differences, Bull. Seism. Soc. Am., 86, 1091-1106, 1996.
- Pitarka, A.: 3D elastic finite-difference modeling of seismic motion using staggered-grid with non-uniform spacing, Bull. Seism. Soc. Ame., 89, 54-68, 1999.
- 宮腰研，香川敬生，趙伯明，徳林宗孝，澤田純男：大阪堆積盆地における深部地盤構造のモデル化 (その3)，第25回地震工学研究発表会，185-188, 1999.
- 阪神高速道路株式会社 大阪建設部：大和川線耐震設計入力地震波検討業務 報告書，平成18年11月
- Kamae, K. and K. Irikura: Prediction of site specific strong ground motion using semi-empirical methods, 10th World conference of Earthquake Engineering, 801-806, 1992.