

# 横ずれ断層の近傍に建設される橋梁の形式選定に資する断層変位の影響評価

佐々木達生

大日本ダイヤコンサルタント株式会社  
インフラ技術研究所技術開発部防災構造事業室

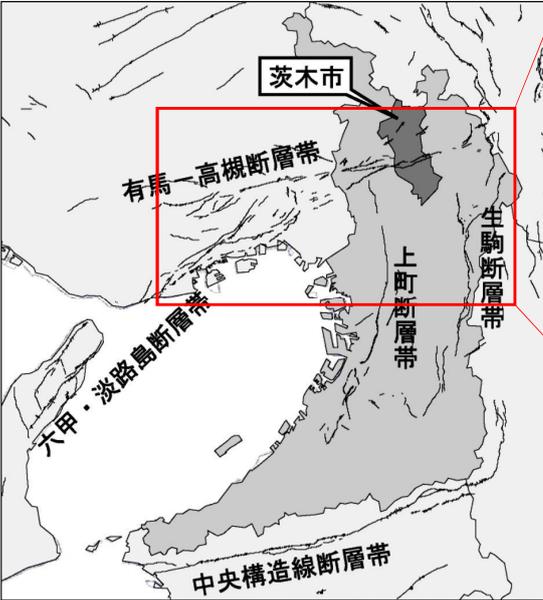
大阪府：木村幸治，後川徳哉，物袋幸雄，湯原誠，豊茂雅也，筒井啓太  
大日本ダイヤコンサルタント(株)：○佐々木達生，富田二郎，松本裕介

## 目次

- 背景／周辺の断層状況
- 検討の目的
- 変位追随性の評価/橋梁形式の選定
  - 静的漸増解析
  - 結果の評価
- 断層変位を含む入力地震動の作成
  - 作成ロジック
  - 断層モデル
  - 馬場断層の上端深さと交差角
- 時刻歴応答解析/結果と形式の決定
- まとめ

# 1.背景／周辺の断層状況

大阪府周辺の活断層



出典：活断層詳細デジタルマップ（2002年（平成14年）：東京大学出版会）



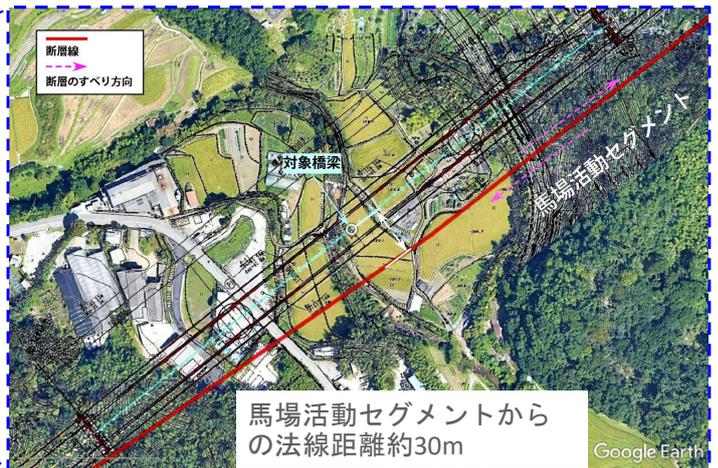
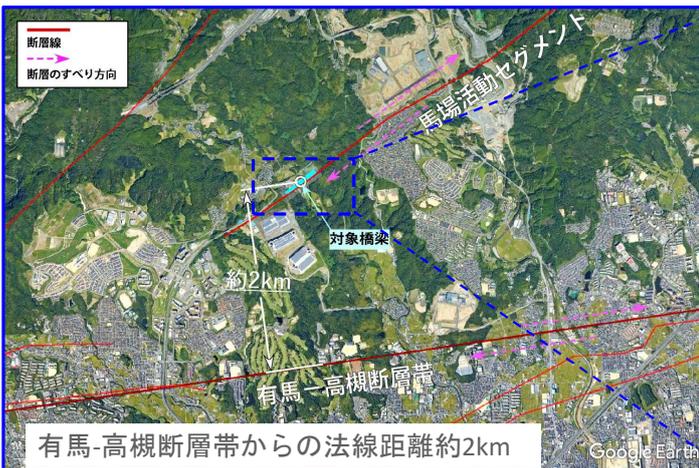
有馬～高槻断層帯	対応断層名称	長さ(km)	傾斜(度)	断層タイプ	マグニチュード	参考文献
主断層	①有馬-高槻構造線・有野-淡河断層	55	80	右横ずれ断層	7.7	大阪府自然災害総合防災対策検討(2007)
	②天王山断層					
分岐断層 付随断層	③馬場活動セグメント（架橋位置近傍）	7	90	右横ずれ断層	6.2	「活断層データベース」産総研(2021)
	④箕面活動セグメント	10	60	右横ずれ断層	6.5	
	⑤五月山活動セグメント	11	60	逆断層	6.6	https://gbank.gsj.jp

断層名	マグニチュード	市内最大震度	30年以内発生確率 <sup>※1</sup>	出典 <sup>※2</sup>
有馬-高槻断層帯地震	7.5程度	7	ほぼ0%~0.04%	市・府
上町断層帯地震	7.5程度	6強	2%~3%	府・国
生駒断層帯地震	7.0~7.5程度	6強	ほぼ0%~0.2%	府・国
六甲・淡路島断層帯地震	7.9程度	6強	ほぼ0%~1%	府
南海トラフ地震	8.5前後	6弱	70%~80%程度	府

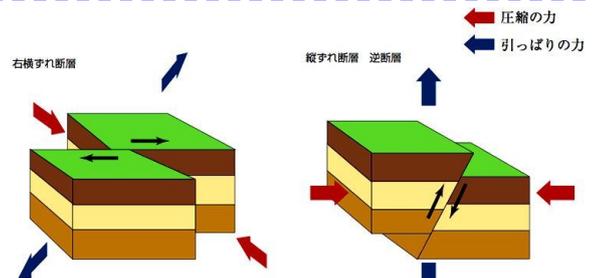
「有馬-高槻断層帯」大きな被害をもたらすおそれのある想定地震として選定（茨木市の地域防災計画）。

国の長期評価では平均滑動期間は1000年～2000年程度、今後30年以内の発生確率は0～0.04%。

約400年前の慶長伏見地震(1596年)は、有馬-高槻断層の東側、これにより断層帯が全て破壊され、ひずみが残っていた可能性。



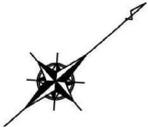
- ・ターゲット断層帯は、対象橋梁に近く地震規模の大きい有馬-高槻断層帯。
- ・80° Nの傾斜角を持つ上下変位を伴う右横ずれ断層として設定（大阪府地震被害想定）。
- ・複数の分岐断層が分布、馬場活動セグメントが対象橋梁に最も近接する。
- ・それぞれ約2km、約30m、断層のずれに伴う大きな地盤変位を受ける可能性有。



図は文部科学省小冊子「地震の発生メカニズムを探る」より

# Appendix1 馬場断層について

- 支持地盤である岩盤；花崗閃緑岩の変質帯の境界が概ね橋軸方向に並行する。
- 硬軟の境界があるのは間違いなさそうであり、これに沿った相対変位が発生する可能性もあり。



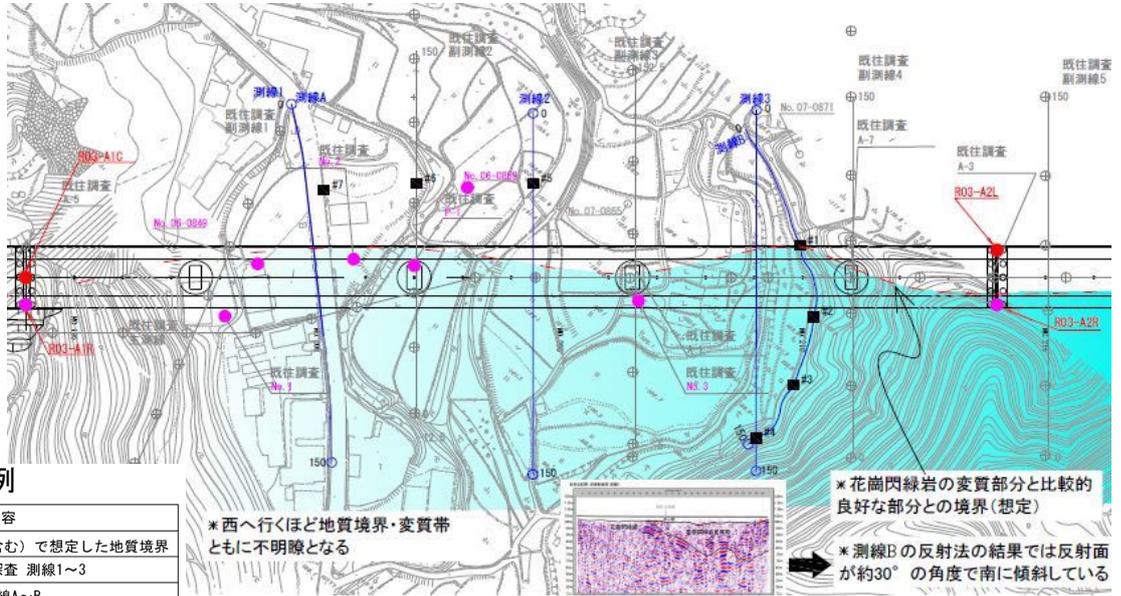
花崗閃緑岩変質帯

## 平面図凡例 (ボーリング)

記号	内容
●	2021年実施 (R03)
●	既往ボーリング (変質帯確認)
○	既往ボーリング
■	追加ボーリング調査 (案)

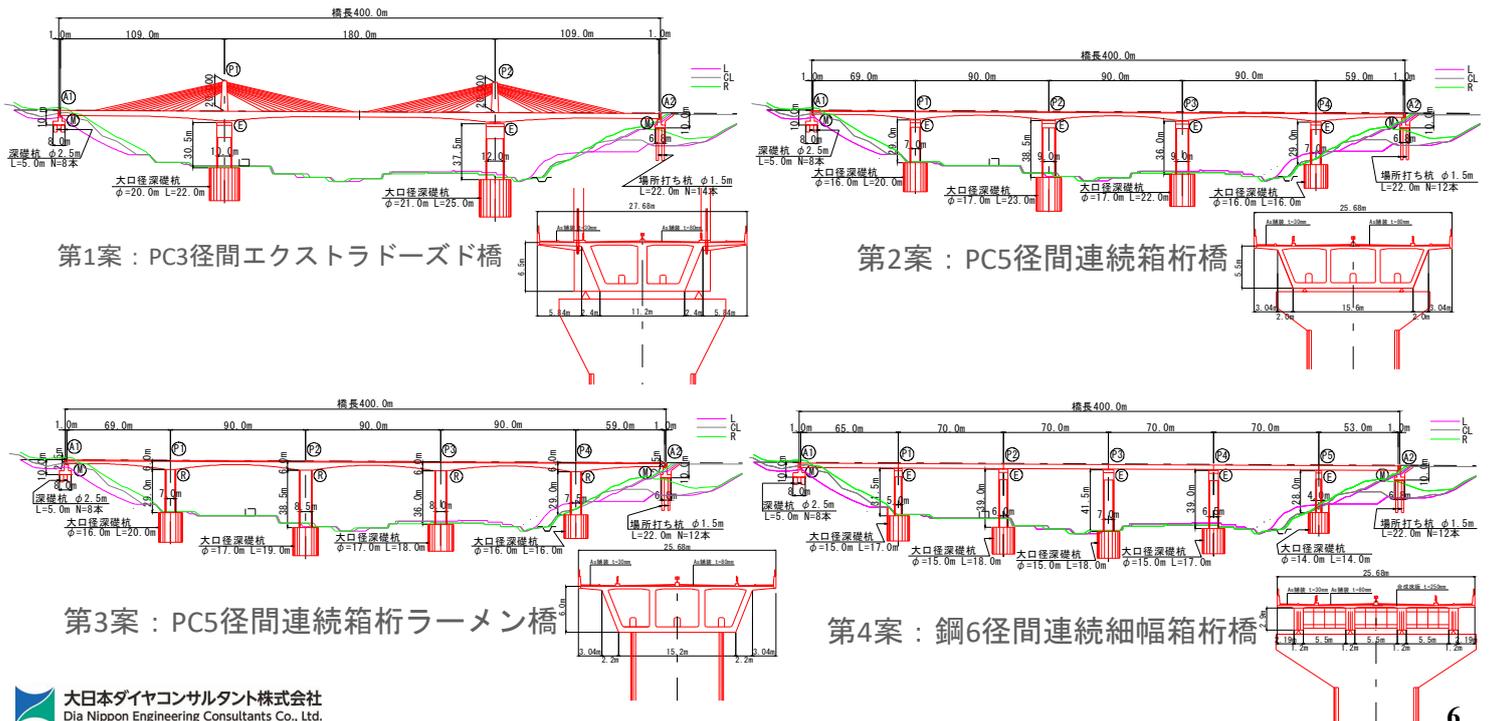
## 平面図凡例

記号	内容
- - -	物理探査結果 (既往結果含む) で想定した地質境界
—	屈折法弾性波探査・電気探査 測線1~3
—	浅層反射法弾性波探査 測線A~B
—	既往調査での側線 (屈折法弾性波探査・電気探査)



馬場断層に関連するとみられる花崗閃緑岩の変質帯境界の推定図

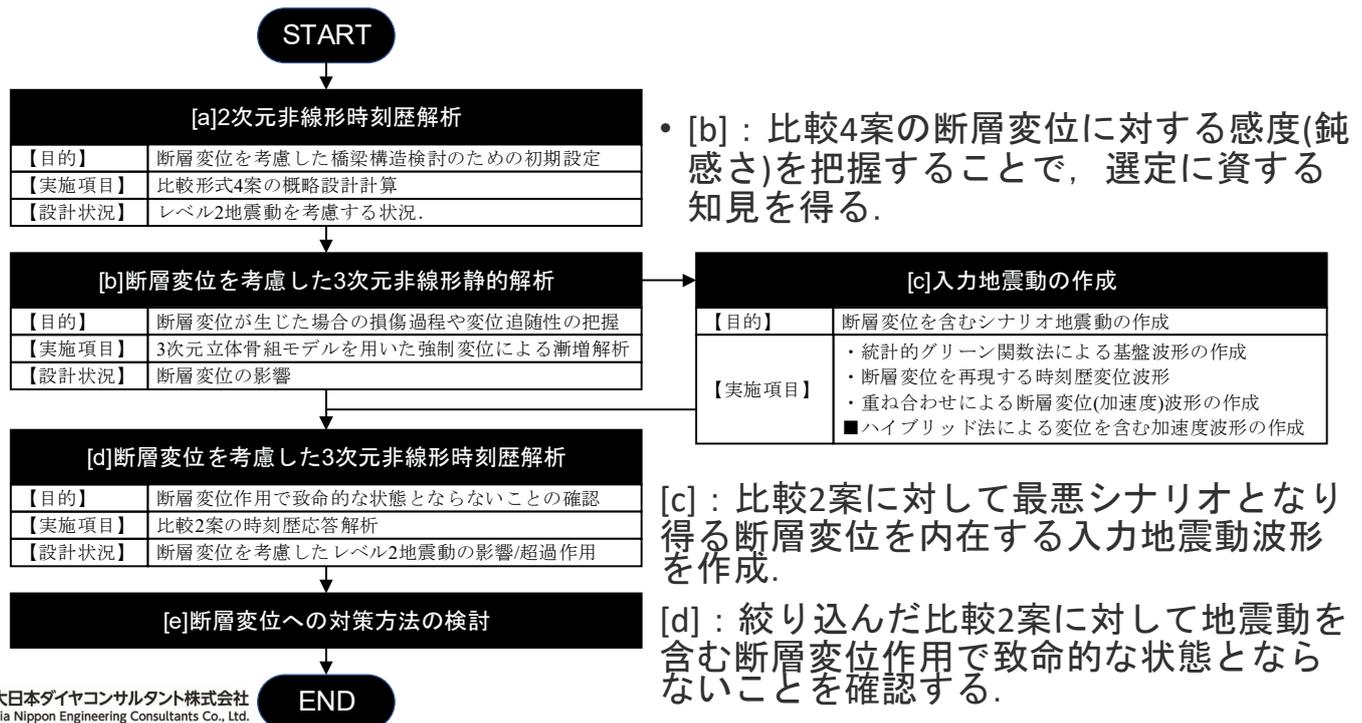
# Appendix2 橋梁形式について



## 2. 検討開始に至るプロセスと検討の目的

- 有馬-高槻断層帯起因する地震の発生確率は30年以内に0~0.04%、馬場活動セグメントに至っては最終活動時期が22,000年前であり、地震再来期間は31,700~40,000年の範囲にある。
- これらの断層活動による巨大地震の発生確率は極めて低いと考えられるため、佐保橋梁(仮)の設計に際しては、偶発作用支配状況として考慮する地震の影響は、H29道示Vに規定されるレベル2地震動の影響を考慮するのみ、耐荷性能に基づいた構造(または部材)の限界状態>応答を満足することで、橋としての耐荷性能は要求を満たすと考えられる。
- 一方で、架橋位置が馬場活動セグメントに極めて近傍すること、さらには有馬-高槻構造線に数kmと漸近するため、万が一を踏まえれば、これらの断層活動による断層変位を最悪シナリオ的に想定したうえで、その場合においても落橋をはじめとする甚大な被害を防ぐための設計が必要である。
- 作用としての断層変位の影響は、上述を踏まえれば想定を上回る作用と位置付けても良いと考え、また、その場合の要求性能は「落橋を防ぐ」と考える。
- 本検討は、これらの断層帯の活動によりもたらされる断層変位の可能性を踏まえ、断層変位に対して、落橋に対して有利となる橋種選定に資する知見を得ることを目的とする。

## 3. 全体の検討の流れ



## 4.変位追随性について

断層変位の影響を考慮する状況に  
対して留めるべき限界状態

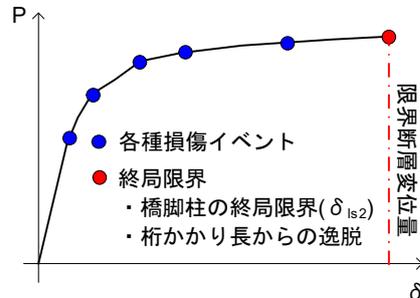
橋の耐荷性能2	
上部構造の限界状態1	
上下部接続部の限界状態3	
下部構造の限界状態2	
基礎構造の限界状態1	

限界断層変位量

作用効果	抵抗特性
P-O解析による各構造の応答変位	各構造の限界状態に応じた制限値

各案の限界断層変位量の大小関係

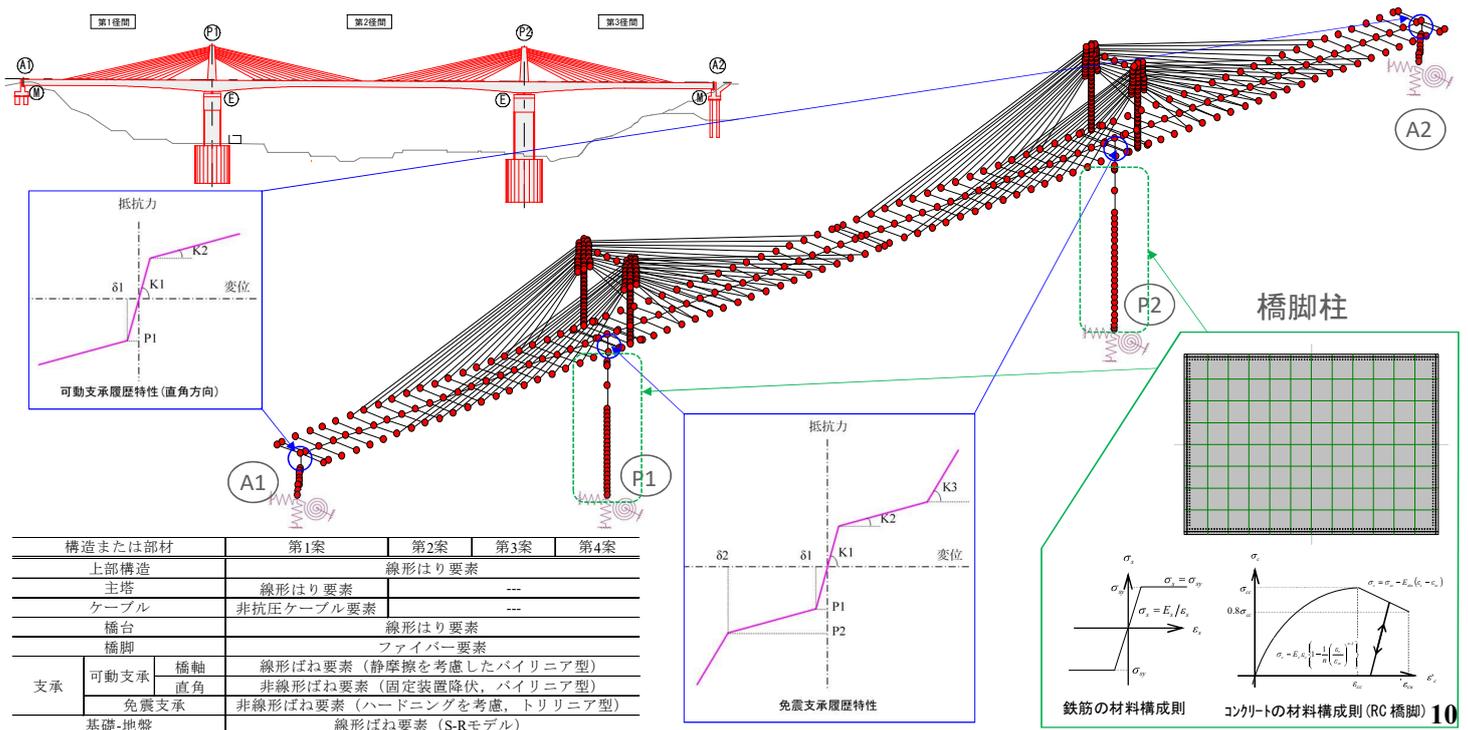
- 橋を構成する各構造（または部材）の留めるべき限界状態の設定。
- P-O解析（静的漸増解析）で各構造（または部材）のいずれかが**限界状態に達した時点の変位を限界断層変位量**と設定



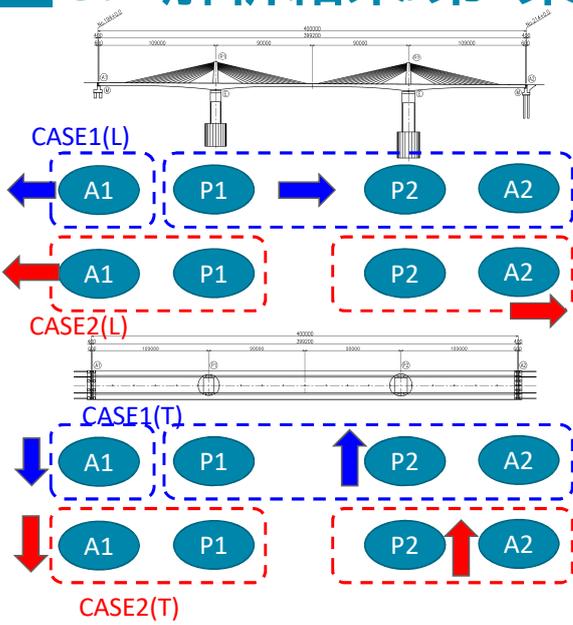
橋梁4形式の限界断層変位量について、大小関係を相対的に示した特性

↓  
変位追随性

## 5.1 P-O解析\_解析モデルの概要/第1案を代表に示す



## 5.2 解析結果/第1案

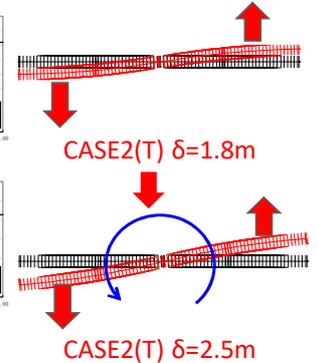
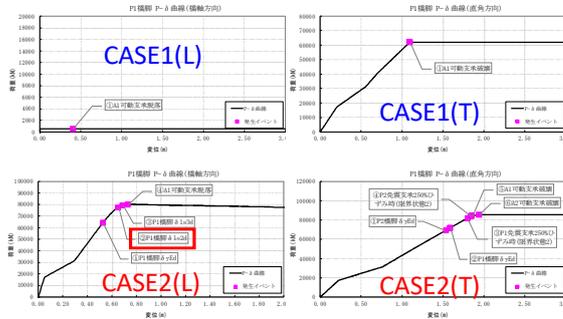


橋軸方向CASE1と直角方向CASE1, CASE2は, 桁かかり長を超えるまで不安定とならない。

大日本ダイヤコンサルタント株式会社  
Dia Nippon Engineering Consultants Co., Ltd.

## 限界状態に応じた制限値

橋軸方向[mm]					橋軸直角方向[mm]				
断層変位の影響を考慮する状況					断層変位の影響を考慮する状況				
	支承	橋脚	基礎	合計		支承	橋脚	基礎	合計
A1	1600.0	-	-	1600.0	A1	13840.0	-	-	13840.0
P1	540.0	149.6	30.2	719.8	P1	540.0	144.0	119.0	803.1
P2	540.0	182.5	21.9	744.4	P2	540.0	202.8	31.7	774.5
A2	1600.0	-	-	1600.0	A2	13840.0	-	-	13840.0



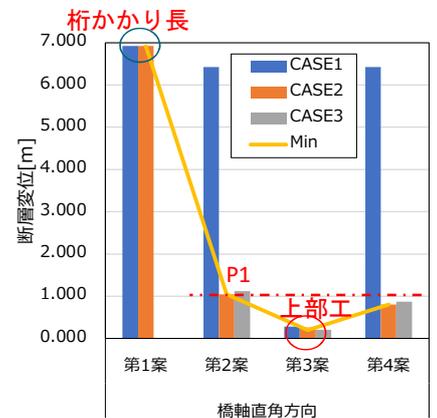
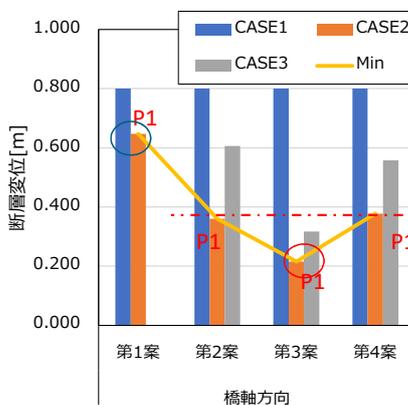
## 限界断層変位量

第1案	単位	橋軸方向				橋軸直角方向			
		CASE1	CASE2	CASE3	備考	CASE1	CASE2	CASE3	備考
上部構造	[m]	-	-	-	損傷無	-	-	-	損傷無
A1	[m]	0.800	0.800	-	限界状態3	6.920	6.920	-	限界状態3
P1	[m]	-	0.648	-	限界状態2	-	-	-	損傷無し
P2	[m]	-	-	-	損傷無し	-	-	-	損傷無し
A2	[m]	-	-	-	損傷無し	-	-	-	損傷無し
Min	[m]	0.800	0.648	0.000	P1限界状態	6.920	6.920	0.000	桁かかり

## 5.3 変位追随性の評価

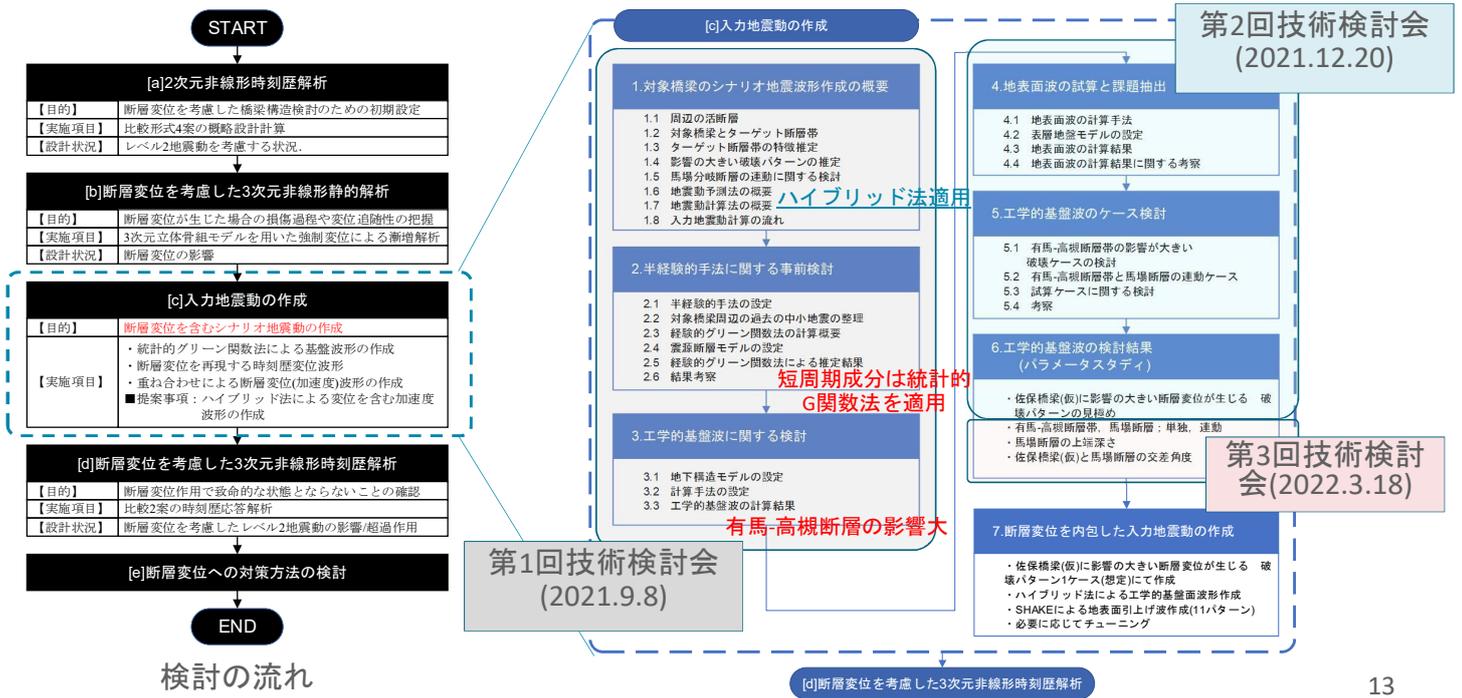
### 各案のケース毎 限界断層変位量

	橋軸方向				橋軸直角方向			
	第1案	第2案	第3案	第4案	第1案	第2案	第3案	第4案
CASE1	0.800	0.800	0.800	0.800	6.920	6.420	0.282	6.420
CASE2	0.648	0.360	0.216	0.378	6.920	1.047	0.252	0.801
CASE3	-	0.606	0.318	0.558	-	1.116	0.201	0.867
Min	0.648	0.360	0.216	0.378	6.920	1.047	0.201	0.801



- 変位追随性が最も優れ断層変位に鈍感な形式は第1案
  - 剛性が相対的に柔
  - 桁かかり逸脱まで損傷進展なし
- 次点は第4案, 第2案
  - 剛性が相対的に中位に柔
  - 支承～橋脚の変形能で断層変位吸収
- 最も劣る形式は第3案
  - 剛性が相対的に剛
  - 橋脚の変形能に依存
  - 上部構造の降伏限界で決定する傾向
- 断層変位による相対変位は第2径間の想定が影響度が高い
- 第1径間に相対変位が生じる場合は桁かかり長に依存

# 6.断層変位を考慮したシナリオ地震動作成

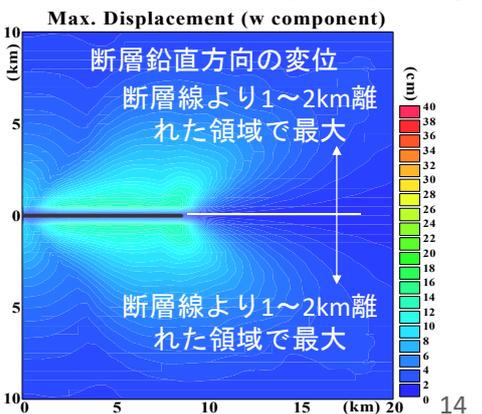
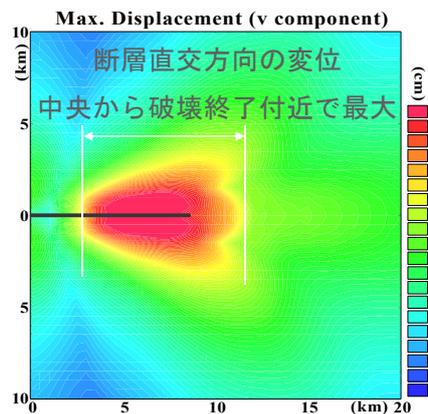
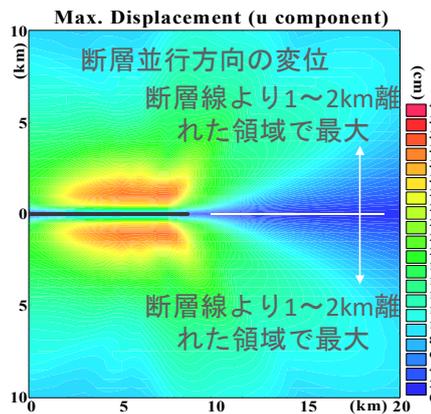
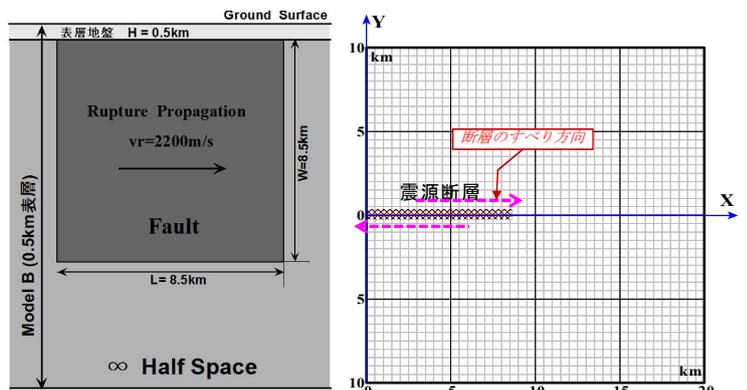


## Appendix3-1：傾向(既往研究)

計算手法：理論的方法

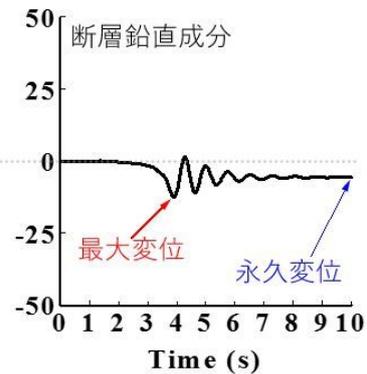
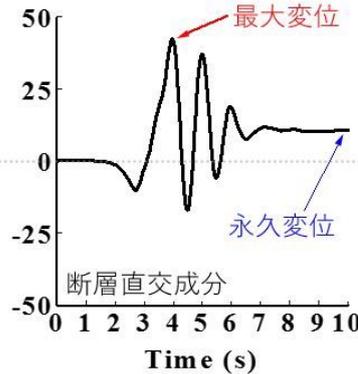
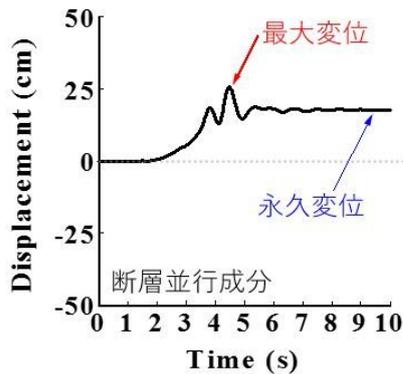
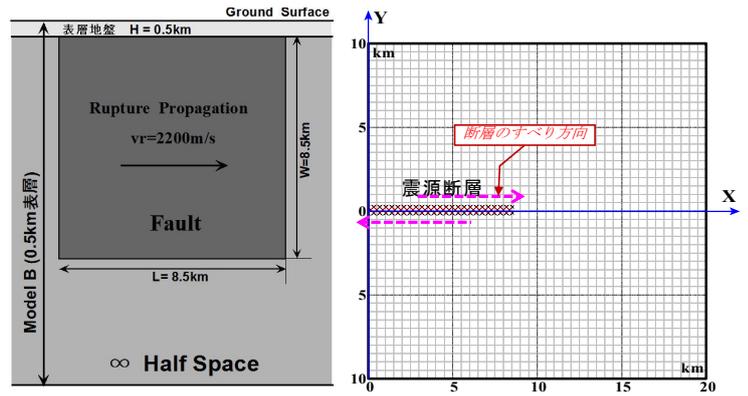
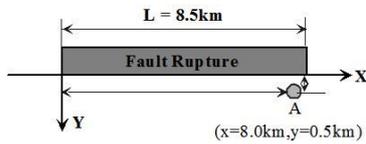
断層地盤系モデル：0.5km表層地盤を持つ深さ8.5km×幅8.5kmの矩形鉛直右横ずれ断層

破壊条件：すべり量50cm，破壊速度2.2km/sec



## Appendix3-2 : 傾向(既往研究)

A地点の変位波形は、断層のすべりタイプや断層変位の成分、表層地盤、評価地点との位置関係により、**最大瞬間変位は永久変位より大きい可能性**。



15

## 6.1 入力地震動の予測方法の概要

- 0.5sec以下は半経験的方法， 0.5sec以上は理論的方法が有効(Appendix3)
- 断層変位は長周期地震動として求められる。→理論的手法， ハイブリッド法が有効

分類	計算手法	概要	特徴	
			長所	短所
経験的	観測地震動の最大値等統計処理	観測地震動の最大値等と地震規模、震源距離、地盤条件の統計処理から地震動特性地の距離減衰式を予測	サイトの地震動特性を簡単に考慮できる	大規模地震近傍の <b>記録不足</b> だと、 <b>地震動波形は得られない</b>
半経験的	経験的グリーン関数法	余震記録（要素地震記録）が伝播・サイト特性を表すと考え、大地震の波形を予測	適切な要素地震記録であれば、高精度な強震動予測が可能	要素地震記録がない場所への適用と <b>断層変位の考慮が困難</b>
	統計的グリーン関数法	点震源モデルか観測記録の統計モデルから小地震波形を作り、大地震波形を予測	短周期域の <b>地震動予測に有効</b>	伝達関数モデルに依存し、 <b>断層変位の考慮が困難</b>
理論的	波数積分法・剛性行列法・差分法・FEM・BEM	震源・伝播経路・サイト特性の全てをモデル化し、波動方程式から波形を予測	断層・伝播特性の考慮が可能、 <b>断層変位を含む長周期波形の精度が高い</b>	複雑な三次元弾性波動方程式だが、 <b>短周期成分の精度が低い</b>
その他	ハイブリッド法	短周期帯域を統計的グリーン関数法、長周期帯域を理論的方法(例えば剛性行列法)で波形を予測	断層・伝播特性を考慮し、断層変位を含む短周期から長周期波形の予測精度がよい	計算が複雑になる

16

# Appendix4-1：経験的G関数法による試算/過去地震の整理

架橋地点周辺の強震観測点

K-NET高槻；OSK002

観測点の周囲60km範囲内の過去地震

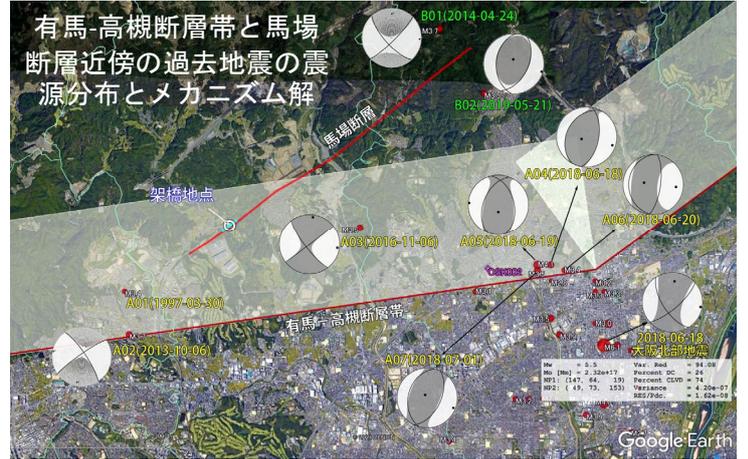
有馬-高槻断層帯が7つ

馬場断層近傍に2つ

横ずれ断層型をピックアップ

気象庁による震源情報										地震のメカニズム情報						
NO.	地震発生日	時刻	緯度	経度	Mj	震源深さ (km)	震央距離 (km)	最大加速度 (gal)	深さ (km)	走向 (°)	傾斜 (°)	すべり角 (°)	Mo (Nm)	Mw	品質	
A01	1997年3月30日	06:44:00	34.853	135.514	3.4	13	7.5	17.1	-	-	-	-	-	-	-	
A02	2013年10月6日	12:02:00	34.845	135.515	3.7	10	7.5	46.7	14	235:326	83:79	168:7	1.77E+14	3.5	55.48	
A03	2016年11月6日	17:08:00	34.865	135.567	3.5	11	2.8	19.4	14	143:52	78:89	11:168	3.44E+14	3.7	74.21	
A04	2018年6月18日	16:31:00	34.860	135.611	3.5	11	1.3	20.1	11	209:10	34:57	106:79	1.33E+14	3.4	59.65	
A05	2018年6月19日	00:31:00	34.859	135.607	4.1	10	1.0	38.9	11	346:202	47:49	64:115	7.80E+14	3.9	94.23	
A06	2018年6月20日	03:47:00	34.858	135.615	3.4	11	1.6	13.8	11	182:8	20:70	84:92	8.30E+13	3.2	60.91	
A07	2018年7月1日	12:42:00	34.858	135.608	3.5	12	1.0	17.3	14	195:26	37:53	81:97	8.41E+13	3.2	65.36	

気象庁による震源情報										地震のメカニズム情報						
NO.	地震発生日	時刻	緯度	経度	Mj	震源深さ (km)	震央距離 (km)	最大加速度 (gal)	深さ (km)	走向 (°)	傾斜 (°)	すべり角 (°)	Mo (Nm)	Mw	品質	
B01	2014年4月24日	17:22:00	34.903	135.586	3.7	12	5.1	12.6	17	45:138	81:72	161:9	1.48E+14	3.4	60.44	
B02	2019年5月21日	07:17:00	34.891	135.597	3.5	11	3.6	16.4	11	184:26	42:51	73:105	1.41E+14	3.4	63.9	



# Appendix4-2：経験的G関数法による試算/震源断層モデル

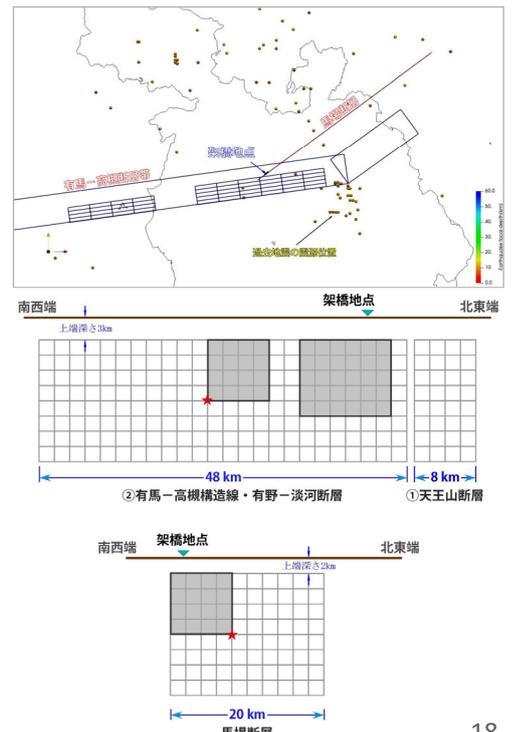
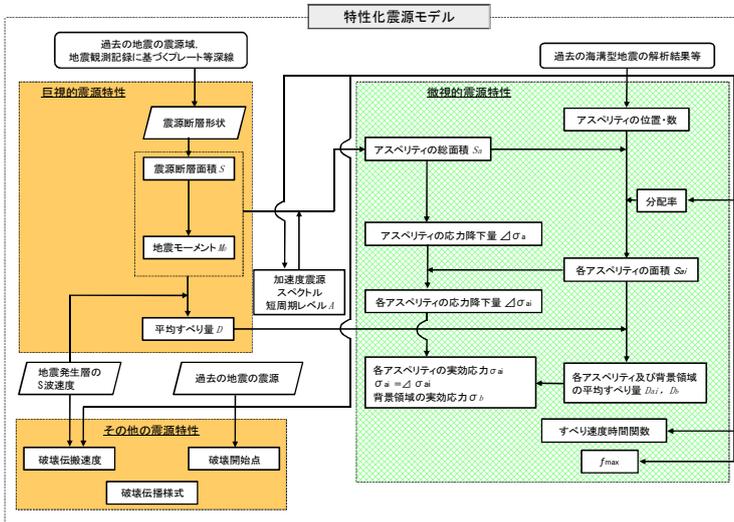
設定手順は下記フロー

有馬-高槻断層帯；大阪府地震被害想定(2007)

馬場断層；活断層DBや調査資料に基づきM7を考慮

断層上端深さ，パラメータはレシピに準拠

レシピから推定したアスペリティの最大すべり量1.74m

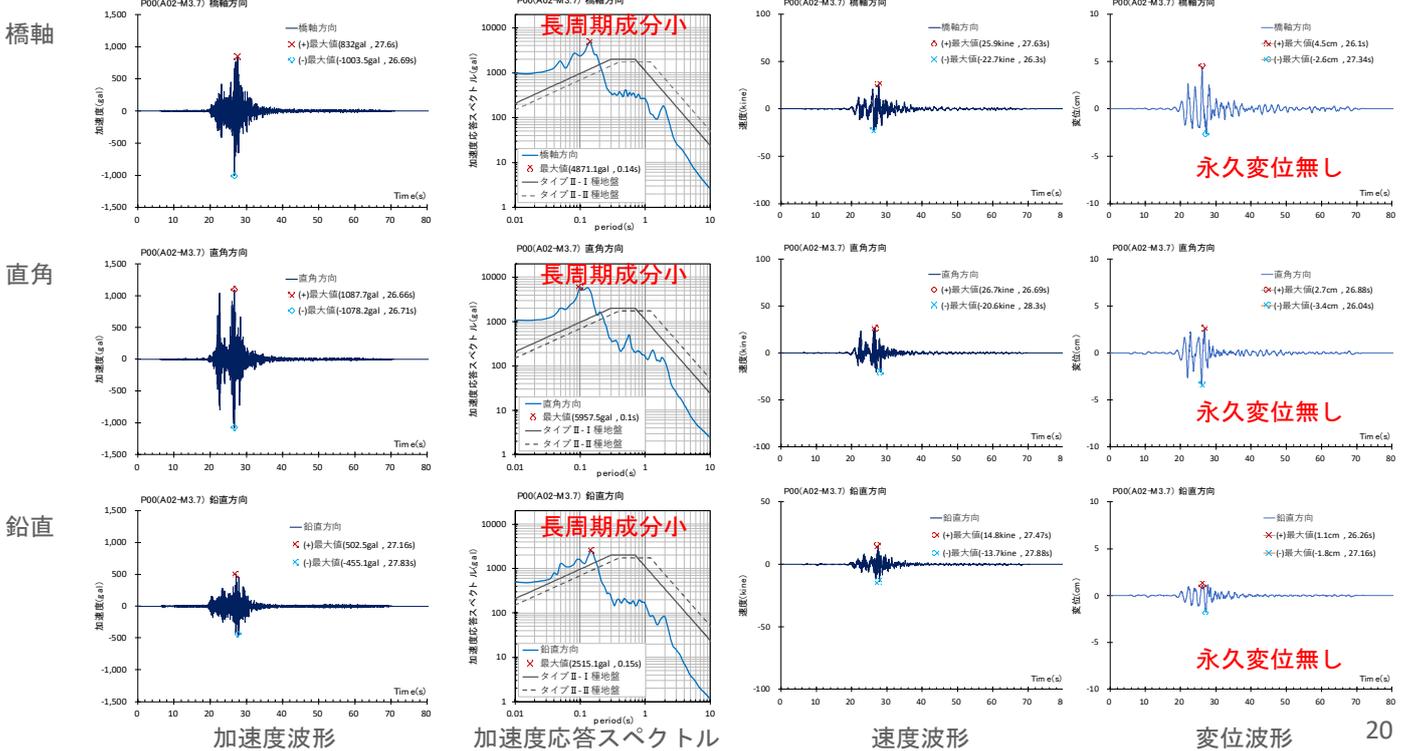


# Appendix4-3 : 経験的G関数法による試算/震源断層パラメータ

分類	震源断層の詳細パラメータ		備考
有馬・高槻断層帯	断層名	有馬-高槻断層 天正山断層	北東を基準点
	断層種類	右横ずれ断層	
	平均走向角 $\theta$ (°)	N234E	N282E
	平均傾斜角 $\delta$ (°)	80	80
	平均すべり角 $\lambda$ (°)	0	0
	断層長 L(km)	8	48
	断層幅 W(km)	16	16
	断層面積 S(km <sup>2</sup> )	128	768
	断層上端深さ Z00(m)	3.0	3.0
	地震モーメント M0(N·m)	9.11E+17	3.28E+19
	断層積 S(km <sup>2</sup> )	996	
	地震モーメント M0(N·m)	4.47E+19	
	気象庁マグニチュード Mj	7.0	
	モーメントマグニチュード Mw	7.0	
	平均すべり量 D(m)	1.5	
静的応力降下量 (Mpa)	4.06		
地盤S速度 Vs (km/s)	3.5		
地盤密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2.8		
剛性率 $\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	3.43E+10		
立ち上がり時間 $\tau$ (s)	1.71		
すべり速度 $v$ (m/a)	0.9		
面積 Sa(km <sup>2</sup> )	197		
地震モーメント M0a(N·m)	2.09E+19		
実行応力 $\Delta\sigma$ (Mpa)	18.4		
平均すべり量 Da(m)	3.1		
立ち上がり時間 $\tau a$ (s)	0.8		
すべり速度 Va(m/a)	3.9		
アスペリティ係数	2		
全断層帯	ASP1	ASP2	
	M0a=M0a*Sa1/2 / Sa1/2	M0a=M0a*Sa2/2 / Sa2/2	
	Mj	Mj	
	Mw	Mw	
	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma$	
	Dai	Dai	
	$\tau a$	$\tau a$	
	Va	Va	
	Sb=S-Sa		
	M0b=M0-M0a		
有馬・高槻断層帯	ASP1	ASP2	
	M0a=M0a*Sa1/2 / Sa1/2	M0a=M0a*Sa2/2 / Sa2/2	
	Mj	Mj	
	Mw	Mw	
	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma$	
	Dai	Dai	
	$\tau a$	$\tau a$	
	Va	Va	
	Sb=S-Sa		
	M0b=M0-M0a		

分類	震源断層の詳細パラメータ		備考
馬場断層	断層名	馬場断層	馬場活動セグメント (産総研 活断層データベース)
	断層種類	右横ずれ断層	
	平均走向角 $\theta$ (°)	N50E	N50E
	平均傾斜角 $\delta$ (°)	90	90
	平均すべり角 $\lambda$ (°)	0	0
	断層長 L(km)	20	S=L*W
	断層幅 W(km)	16	地震発生層下層(レンビ)
	断層面積 S(km <sup>2</sup> )	318	M0=C0 $\Delta\sigma$ S <sup>3/2</sup> (C0=16/7 $\pi$ <sup>3/2</sup> =0.41)
	断層上端深さ Z00(m)	2.0	地震発生層上端深さ(レンビ)
	地震モーメント M0(N·m)	8.13E+18	M0=10 <sup>17</sup> (1.7M <sub>s</sub> +10.72) (武村,1990)
	断層積 S(km <sup>2</sup> )	318	S=24*10 <sup>17</sup> (-11)*M0*10 <sup>17</sup> (1/2)
	地震モーメント M0(N·m)	8.13E+18	M0=10 <sup>17</sup> (1.7M <sub>s</sub> +10.72) (武村,1990)
	気象庁マグニチュード Mj	7.0	過年度調査資料
	モーメントマグニチュード Mw	6.5	M0=10 <sup>17</sup> (1.5M <sub>s</sub> +9.1) 金森博雄(1977)
	平均すべり量 D(m)	1.6	過年度調査資料
静的応力降下量 (Mpa)	3.5	大坂府(2007)	
地盤S速度 Vs (km/s)	3.5	大坂府(2007)	
地盤密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2.8	大坂府(2007)	
剛性率 $\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	3.43E+10	$\mu = \rho * V_s^2$ ; (密度 $\rho = 2.8g/cm^3$ )	
立ち上がり時間 $\tau$ (s)	1.02	$\tau = 0.2-0.4 * S^{1/2} / V_s$ ここで0.2採用	
すべり速度 $v$ (m/a)	1.6	D / $\tau$	
面積 Sa(km <sup>2</sup> )	70	Sa=0.22*S ; Somerville et al.(1999)	
地震モーメント M0a(N·m)	3.81E+18	M0a= $\Delta\sigma * Sa^{1.5} / 2.436$	
実行応力 $\Delta\sigma$ (Mpa)	15.9	$\Delta\sigma = \Delta\sigma * (S/Sa)$	
平均すべり量 Da(m)	1.6	M0a= $\mu * Da * Sa$	
立ち上がり時間 $\tau a$ (s)	0.5	$\tau a = (Sa/S)^{1/2} / 2 * \tau$	
すべり速度 Va(m/a)	3.3	Va=Da / $\tau a$	
アスペリティ係数	1		
全断層帯	ASP1	ASP2	
	M0a=M0a*Sa1/2 / Sa1/2	M0a=M0a*Sa2/2 / Sa2/2	
	Mj	Mj	
	Mw	Mw	
	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma$	
	Dai	Dai	
	$\tau a$	$\tau a$	
	Va	Va	
	Sb=S-Sa		
	M0b=M0-M0a		

# Appendix4-4 : 経験的G関数法による試算/結果(有馬-高槻構造線A02)



## 6.2 入力地震動の予測方法の提案

- 短周期：半経験的方法(統計的G関数法)
- 長周期：理論的方法(剛性行列法)
- これらのハイブリッド法の実施。

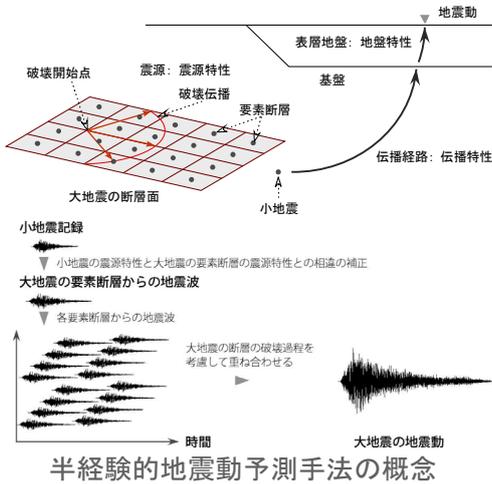
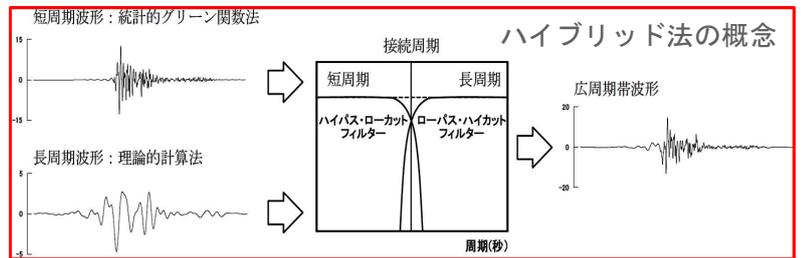
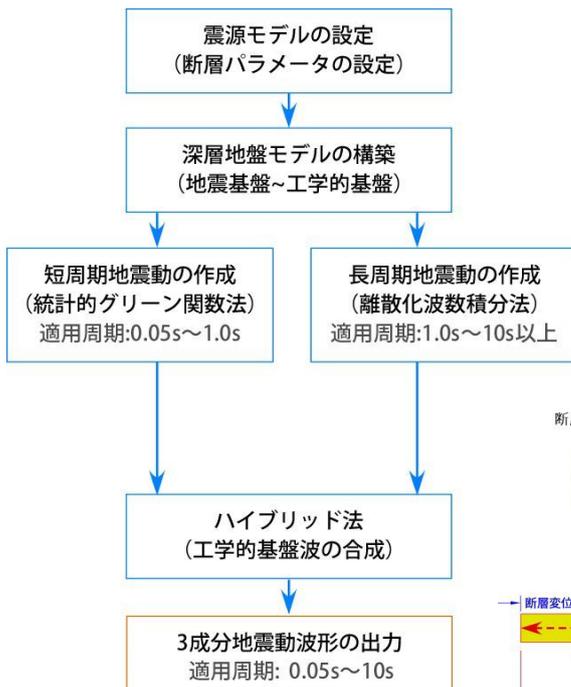


表 理論的方法の適用性と概略

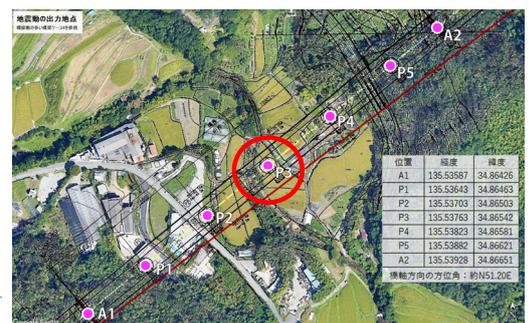
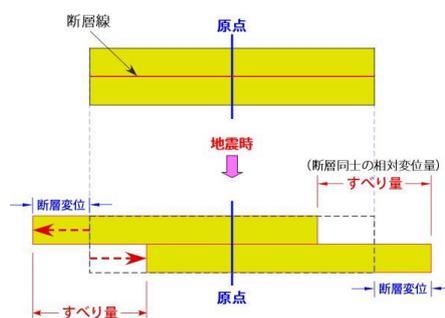
計算手法	適用性と概略
波数積分法： Bouchon(1981) <sup>(10)</sup> 、 久田(1997) <sup>(11)</sup> 等	断層運動に対する水平成層地盤媒質の波動場を理論的に求める方法。地盤モデルを水平成層地盤と考えるので、不整形地盤を考慮できない点がある。また、これらの手法は、伝達行列法によって考慮され、この伝達行列計算の数値安定化に関して問題点が残っている。
剛性行列法： Kauselら(1981) <sup>(12)</sup> 、 原田・本橋(2017) <sup>(9)</sup> 等	波数積分法と同様な理論で運動学的断層モデルと水平成層地盤モデルの波動場を弾性波理論に基づいて理論的に計算し評価する方法。この手法は上記の伝達行列を剛性行列に書き換え、高周波数、高波数、柔らかい厚い層などの条件で現れる数値計算の不安定性を改善している。
差分法： Pitarka(1999) <sup>(13)</sup> 、 Aoi(1999) <sup>(14)</sup> 等	不整形地盤を対象とした手法で、計算には不整形地下構造の情報が必要のため、利用できる地域が限られているのが現状である。また、現状計算機の性能や計算アルゴリズムの問題によって、計算機のメモリと計算時間の制約を受けている。
有限要素法： Bao(1998) <sup>(15)</sup> 等	不整形地盤を対象とした手法で差分法と比較して、地表面の凹凸が容易に取り込める等の地下構造モデリングに対する汎用性を有するが、同程度の精度を得るために必要な計算量・メモリ容量が大きく、差分法以上の計算コストがかかる。
境界要素法： Fujiwara(2000) <sup>(16)</sup> 等	不整形地盤に適用可能な手法で、地盤媒質の支配方程式を境界積分方程式に置き換えて計算する方法である。地下構造情報と高い計算コストなどの制約がある。
Aki-Lamer法： Aki(1970) <sup>(17)</sup>	不整形地盤にも適用可能であるが、境界要素法と同様に地下構造の情報と計算コストの制約がある。



## 7. 工学的基盤波に関する検討/計算手法



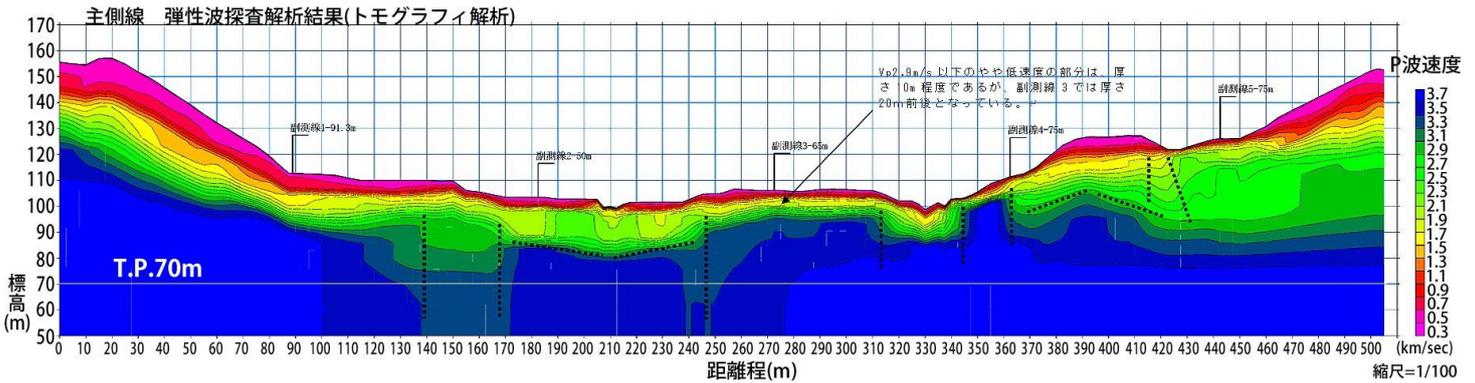
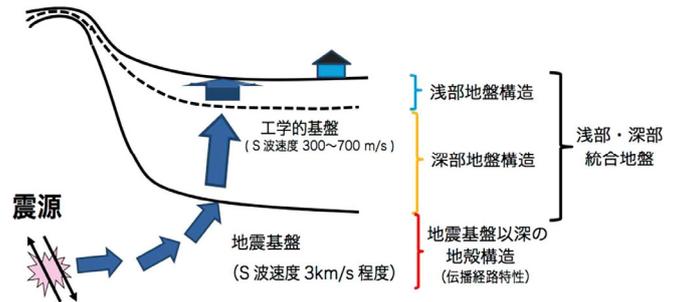
- 工学的基盤面の計算は、全周期帯域をカバーするハイブリッド法を採用。
- 短周期地震動：統計的グリーン関数法
- 長周期地震動：理論的方法(剛性行列法)
- すべり量は相対変位置量，断層変位は絶対変位置量
- 暫定的に第4案のP3橋脚位置で評価



# Appendix5 : 地下構造モデル

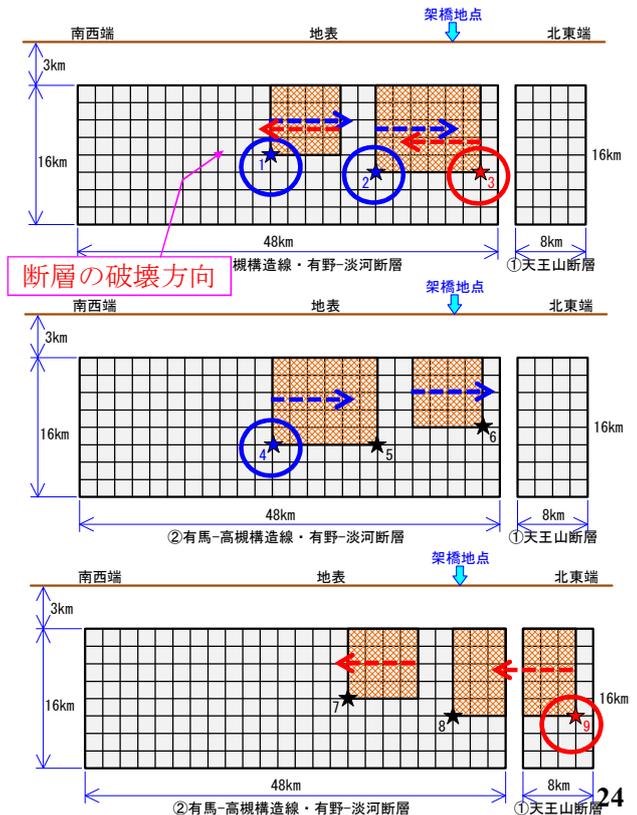
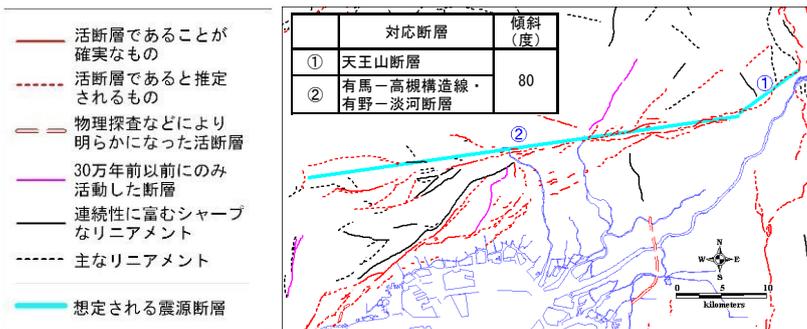
- 地下構造モデルの構成イメージ(右図).
- 地震ハザードステーションJ-SHISの深層地盤データを参考に、深層地盤造モデル構築.
- 浅部地盤構造は過年度調査資料を基に設定(下図).
- 暫定的に標高70mを工学的基盤面と考える(概ね $V_p=3.5\text{km/sec}$ ).

層番号	標高 (m)	層厚 (m)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	P波減衰 $Q_p$	S波減衰 $Q_s$
1	70	20	3500	1700	2300	150	150
2	50	450	5000	2700	2500	200	200
3	-400	1530	5500	3100	2600	300	300
4	-1930	5000	5700	3300	2700	300	300
5	---	---	6000	3400	2750	300	300



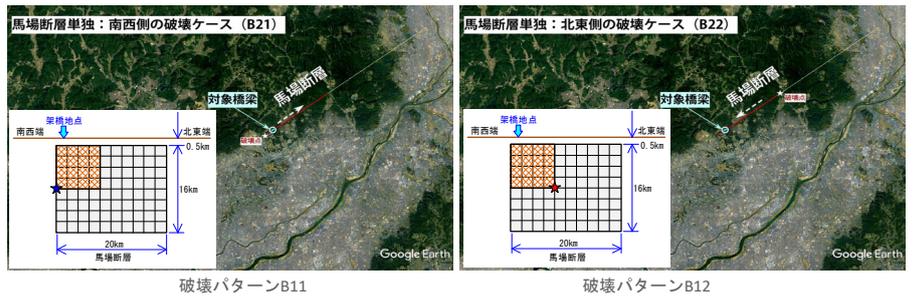
## 7.1 断層諸元/有馬-高槻断層帯

- 大阪府(2007)の地震被害想定では、非一様破壊シナリオを9ケース想定.
- 本検討においてもこれを踏襲.
- 南西側からの破壊→★1(A31★1), ★2(A31★2)  
★4 (A31★4)
- 北東側からの破壊→★3(A32★3), ★9(A32★9)



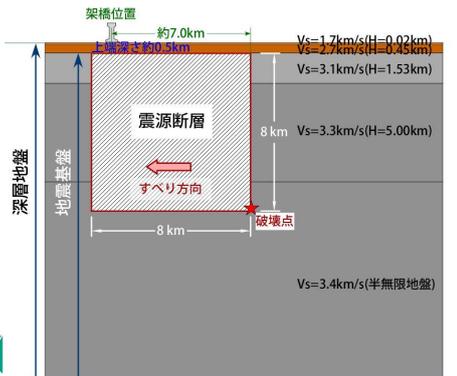
## 7.2 断層諸元/馬場断層

- 対象橋梁のほぼ直下に並行して走ると想定。
- 対象橋梁との距離はわずか30m.
- 単独破壊2ケース：南西側からの破壊，北東側からの破壊
- 有馬-高槻断層帯との連動2ケース：南西側からの破壊，北東側からの破壊



破壊パターンB11

破壊パターンB12



破壊パターンA31★1+B11



破壊パターンA32★9+B12

## 8.1 工学的基盤面試算ケース/ハイブリッド法

- 有馬-高槻断層帯単独で5ケース，馬場断層単独で2ケース，連動2ケース。
- 合計9ケースを横並び対比し，断層変位が最も大きくなる破壊パターンを選定
- 地震動強度はいずれも大きな差異はなく，レベル2タイプII相当

### 単独7ケース

単独破壊のケース		有馬-高槻断層帯		馬場断層	
		南西側から破壊	北東側から破壊	南西側から破壊	北東側から破壊
断層上端深さ	上端0.0km	—	—	—	B02
	上端0.5km	—	—	—	B12
	上端2.0km	—	—	B21	B22
	上端3.0km	A31(★1)	A32(★3)	—	—
A31(★2)		—	—	—	
A31(★4)		A32(★9)	—	—	

### 連動2ケース

連動ケース	有馬-高槻断層帯	馬場断層
南西側から破壊	A31(★1)	+ B21
北東側から破壊	A32(★9)	+ B22

※ケース番号の凡例：A01

1文字目	2文字目	3文字目
A：有馬-高槻断層帯	0：0.0km	1：南西側から破壊
B：馬場断層	1：0.5km	2：北東側から破壊
	2：2.0km	
	3：3.0km	

## 8.2 ハイブリッド法による試算結果 ～工学的基盤面/断層変位～

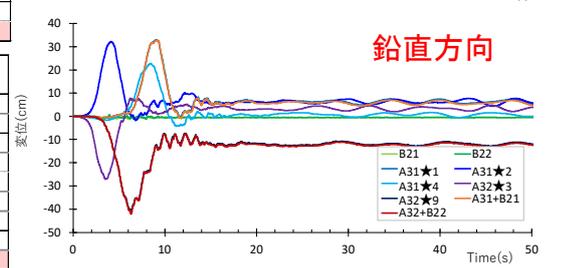
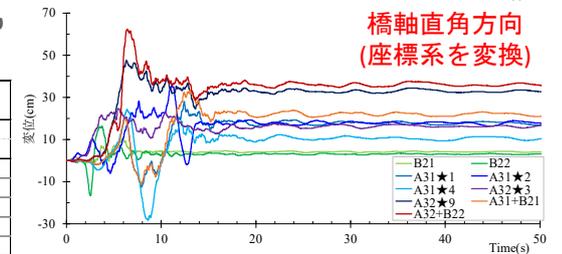
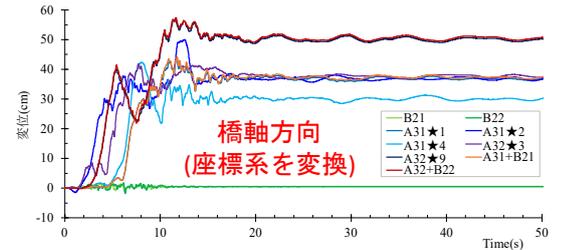
- 最大変位, 永久変位ともに連動ケースの北東側破壊パターンA32★9+B22が最大となる。  
→照査用地震動として選定
- 馬場断層そのものの断層変位は極めて小さい。
- 連動ケースの断層変位は, 有馬-高槻断層の活動によるものが支配的といえる。

【最大】

P3(案4) 最大変位の比較 (単位:cm)			橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
想定地震	記号				
馬場断層単独	南西側から破壊	B21	1.85	10.68	1.08
	北東側から破壊	B22	1.83	16.58	1.38
有馬-高槻断層帯単独	南西側破壊ケース1	A31★1	43.38	27.97	32.97
	南西側破壊ケース2	A31★2	50.03	35.42	32.16
	南西側破壊ケース4	A31★4	42.36	28.25	22.79
	北東側破壊ケース3	A32★3	41.85	24.70	27.06
	北東側破壊ケース9	A32★9	57.19	47.56	40.57
有馬-高槻断層帯-馬場断層連動	南西側から破壊	A31+B21	44.16	33.35	32.74
	北東側から破壊	A32+B22	<b>57.34</b>	<b>62.20</b>	<b>42.02</b>

【永久】

P3(案4) 永久変位の比較 (単位:cm)			橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
想定地震	記号				
馬場断層単独	南西側から破壊	B21	0.45	4.25	0.43
	北東側から破壊	B22	0.49	3.38	0.42
有馬-高槻断層帯単独	南西側破壊ケース1	A31★1	36.93	18.27	6.11
	南西側破壊ケース2	A31★2	36.30	16.42	5.20
	南西側破壊ケース4	A31★4	29.82	11.31	1.48
	北東側破壊ケース3	A32★3	37.13	16.43	4.42
	北東側破壊ケース9	A32★9	50.45	32.40	12.61
有馬-高槻断層帯-馬場断層連動	南西側から破壊	A31+B21	37.38	22.46	5.69
	北東側から破壊	A32+B22	<b>50.95</b>	<b>35.33</b>	<b>13.04</b>

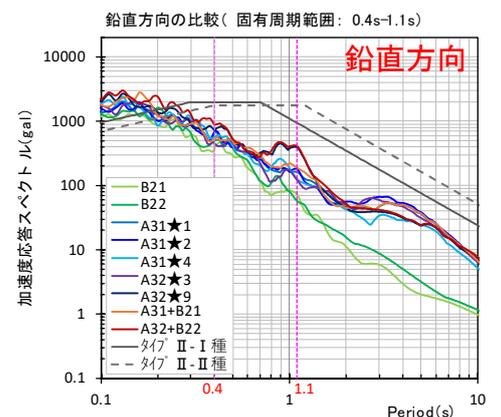
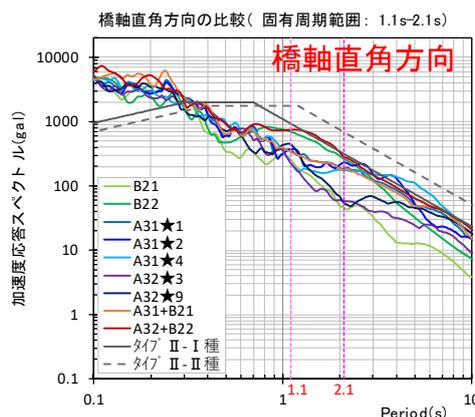
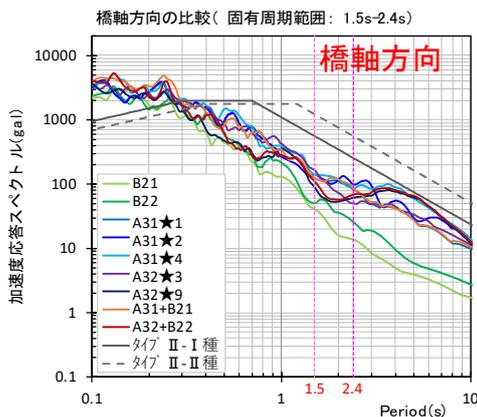


## 8.3 ハイブリッド法による試算～工学的基盤面/地震動強度～

- 地震動強度は加速度応答スペクトル(5%減衰)で評価
- 橋軸方向は単独A31★2が最大であるものの, L2TIIスペクトルには及ばず。
- 直角方向は連動A32★9+B22が最大, L2TIIスペクトル相当。
- 選定においては, 断層変位に主眼を置く。

主要周期帯の影響係数

加速度応答スペクトル(5%減衰)の平均値の比		橋軸方向			
想定地震	記号	固有周期(1.5s~2.4s)	固有周期(1.1s~2.1s)	固有周期(0.4s~1.1s)	
馬場断層単独	南西側から破壊	B21	0.27	0.47	0.56
	北東側から破壊	B22	0.50	1.77	0.70
有馬-高槻断層帯単独	南西側破壊ケース1	A31★1	1.31	0.98	0.94
	南西側破壊ケース2	A31★2	<b>1.44</b>	0.94	0.96
	南西側破壊ケース4	A31★4	1.44	0.69	0.97
	北東側破壊ケース3	A32★3	1.07	0.40	0.86
	北東側破壊ケース9	A32★9	0.76	0.66	1.42
有馬-高槻断層帯-馬場断層連動	南西側から破壊	A31+B21	1.37	0.96	1.06
	北東側から破壊	A32+B22	0.85	<b>2.14</b>	<b>1.51</b>

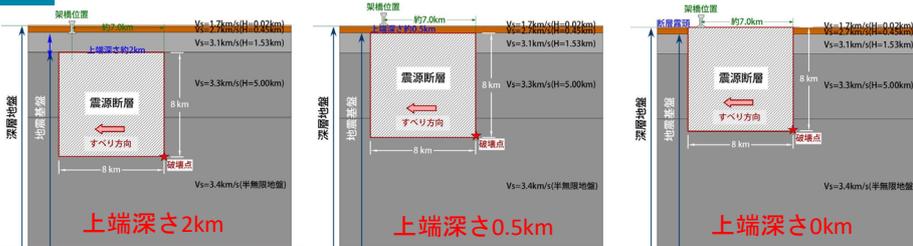


# Appendix6 : 震源断層パラメータ

分類	震源断層の詳細パラメータ			備考	
	断層名	Segment① 天王山断層	Segment② 有馬-高槻橋連続・有野-淡河断層		
目視的震源断層パラメータ	断層種類	右横ずれ断層		有馬-高槻断層帯	
	平均走向角 $\theta(^{\circ})$	N234E	N262E		
	平均傾斜角 $\delta(^{\circ})$	80	80	大阪府(2007)	
	平均すべり角 $\lambda(^{\circ})$	0	0		
	断層長 L(km)	8	48	大阪府(2007)	
	断層幅 W(km)	16	16		
	断層面積 S(km <sup>2</sup> )	128	768	L*W	
	断層上端深さ Z0(km)	3.0	3.0	地震発生層上端深さ、大阪府(2007)より設定	
	地震モーメント M0(N·m)	9.11E+17	3.28E+19	S=4.24*10 <sup>17</sup> (=11)*M0*10 <sup>7</sup> (1/2) 入倉・三宅(2001)	
	総面積 S(km <sup>2</sup> )	896			
全断層	地震モーメント M0(N·m)	4.47E+19		S=4.24*10 <sup>17</sup> (=11)*M0*10 <sup>7</sup> (1/2) 入倉・三宅(2001)	
	気象庁マグニチュード Mj	7.9		M0=10 <sup>17</sup> (1.17Mj+9.12)(武村,1990)	
	モーメントマグニチュード Mw	7.0		M0=10 <sup>17</sup> (1.5Mw+9.1) 金森博雄(1977)	
	平均すべり量 D(m)	1.5		M0=μ*Ds (大阪府では1.3m)	
	静的応力降下量(Mpa)	4.06		$\Delta\sigma=2.438M0/S1.5$	
	地盤S速度 Vs (km/s)	3.5		大阪府(2007)	
	地盤密度 ρ (kg/m <sup>3</sup> )	2.8		大阪府(2007)	
	剛性率 μ (N/m <sup>2</sup> )	3.43E+10		$\mu=\rho*Vs^2$ (密度ρ=2.8g/cm <sup>3</sup> )	
	立ち上がり時間 τ (s)	1.71		$\tau=(0.2-0.4)*S^{1/2}/Vs$ ここで0.2採用	
	すべり速度 v(m/s)	0.9		D/τ	
微視的震源断層パラメータ	面積 Sa(km <sup>2</sup> )	197		Sa=0.22*S (Somerville et al.(1999))	
	地震モーメント M0a(N·m)	2.09E+19		M0a=Δσ*a*Sa <sup>1.5</sup> /2.438	
	実行応力 Δσ (Mpa)	18.4		Δσ=a*Δσ/(S/Sa)	
	平均すべり量 Da(m)	3.1		M0a=μ*Da*Sa	
	立ち上がり時間 τa(s)	0.8		$\taua=(Sa/S)^{1/2}*\tau$	
	すべり速度 Va(m/s)	3.9		Va=Da/τa	
	アスペリティ係数	3			
	アスペリティ区分	ASP1	ASP2	ASP3	
	地震モーメント M0ai (N·m)	6.75E+18	6.75E+18	7.44E+18	M0ai=M0a*Sa <sup>3/2</sup> /ΣSa <sup>3/2</sup>
	モーメントマグニチュード Mjai	6.9	6.9	7.0	M0ai=10 <sup>17</sup> (1.17Mjai+9.12)(武村,1990)
モーメントマグニチュード Mwi	6.5	6.5	6.5	M0ai=10 <sup>17</sup> (1.5Mwi+9.1) 金森博雄(1977)	
実行応力 Δσai (Mpa)	18.4	18.4	18.4	Dai=M0ai/(μ*Saai)	
平均すべり量 Dai (m)	3.28	3.28	3.39	Tr=Wa/Vr, a=0.5	
立ち上がり時間 τai (s)	1.98	1.98	1.59	Vr=0.72*Vs (Geller(1976))	
破壊伝播速度 Vr(km/s)	2.5	2.5	2.5	Sb=S-Sa	
背景領域の面積 Sb(km <sup>2</sup> )	699				
背景領域の地震モーメント M0b(N·m)	2.37E+19		M0b=M0-M0a		
立ち上がり時間 τb (s)	3.17				
背景領域の平均すべり量 Db(m)	0.99		M0b=μ*Db*Sb		
背景領域の実効応力 σb (Mpa)	3.69		Δσb=0.2*Δσa		

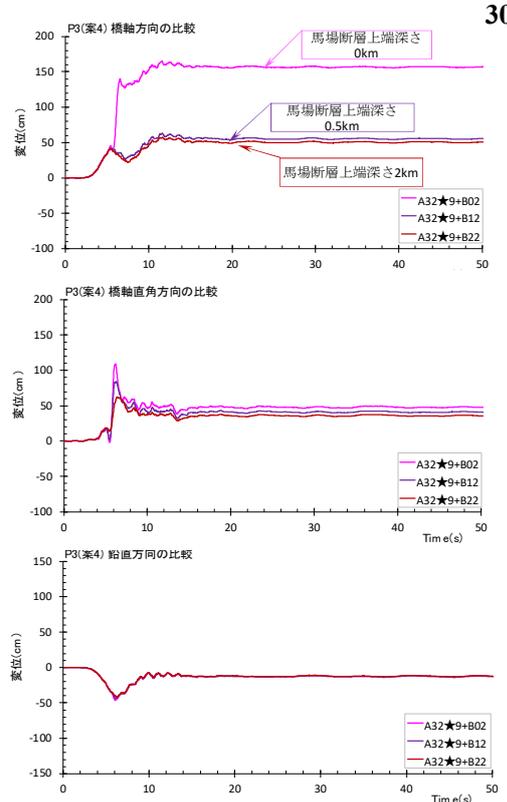
分類	震源断層の詳細パラメータ		備考
	断層名	馬場断層	
目視的震源断層パラメータ	断層種類	右横ずれ断層	馬場活動セグメント (産総研 活断層データベース)
	平均走向角 $\theta(^{\circ})$	N50E	馬場活動セグメント (産総研 活断層データベース)
	平均傾斜角 $\delta(^{\circ})$	90	
	平均すべり角 $\lambda(^{\circ})$	0	
	断層長 L(km)	20	S=L*W
	断層幅 W(km)	16	地震発生層下層(レンビ)
	断層面積 S(km <sup>2</sup> )	318	M0=C0*Δσ*S <sup>3/2</sup> (C0=16/7*π <sup>1/3</sup> /2=0.41)
	断層上端深さ Z0(km)	0.5	遠部破壊の可能性を考慮
	地震モーメント M0(N·m)	8.13E+18	M0=10 <sup>17</sup> (1.17Mj+10.72)(武村,1990)
	総面積 S(km <sup>2</sup> )	318	
全断層	地震モーメント M0(N·m)	8.13E+18	M0=10 <sup>17</sup> (1.17Mj+10.72)(武村,1990)
	気象庁マグニチュード Mj	7.0	過年度調査資料
	モーメントマグニチュード Mw	6.5	M0=10 <sup>17</sup> (1.5Mw+9.1) 金森博雄(1977)
	平均すべり量 D(m)	1.6	過年度調査資料
	静的応力降下量(Mpa)	3.5	大阪府(2007)
	地盤S速度 Vs (km/s)	3.5	大阪府(2007)
	地盤密度 ρ (kg/m <sup>3</sup> )	2.8	大阪府(2007)
	剛性率 μ (N/m <sup>2</sup> )	3.43E+10	$\mu=\rho*Vs^2$ (密度ρ=2.8g/cm <sup>3</sup> )
	立ち上がり時間 τ (s)	1.02	$\tau=(0.2-0.4)*S^{1/2}/Vs$ ここで0.2採用
	すべり速度 v(m/s)	1.6	D/τ
微視的震源断層パラメータ	面積 Sa(km <sup>2</sup> )	70	Sa=0.22*S (Somerville et al.(1999))
	地震モーメント M0a(N·m)	3.81E+18	M0a=Δσ*a*Sa <sup>1.5</sup> /2.438
	実行応力 Δσ (Mpa)	15.9	Δσ=a*Δσ/(S/Sa)
	平均すべり量 Da(m)	1.6	M0a=μ*Da*Sa
	立ち上がり時間 τa(s)	0.5	$\taua=(Sa/S)^{1/2}*\tau$
	すべり速度 Va(m/s)	3.3	Va=Da/τa
	アスペリティ係数	1	
	アスペリティ区分	ASP1	
	地震モーメント M0ai (N·m)	3.81E+18	M0ai=M0a*Sa <sup>3/2</sup> /ΣSa <sup>3/2</sup>
	モーメントマグニチュード Mjai	6.7	M0ai=10 <sup>17</sup> (1.17Mjai+10.72)(武村,1990)
モーメントマグニチュード Mwi	6.3	M0ai=10 <sup>17</sup> (1.5Mwi+9.1) 金森博雄(1977)	
実行応力 Δσai (Mpa)	15.9	Dai=M0ai/(μ*Saai)	
平均すべり量 Dai (m)	1.74	Tr=Wa/Vr, a=0.5	
立ち上がり時間 τai (s)	1.59	Vr=0.72*Vs (Geller(1976))	
破壊伝播速度 Vr(km/s)	2.5	Sb=S-Sa	
背景領域の面積 Sb(km <sup>2</sup> )	248		
背景領域の地震モーメント M0b(N·m)	4.32E+18		M0b=M0-M0a
立ち上がり時間 τb (s)	3.17		
背景領域の平均すべり量 Db(m)	0.51		M0b=μ*Db*Sb
背景領域の実効応力 σb (Mpa)	3.18		Δσb=0.2*Δσa

## 9.馬場断層の上端深さ

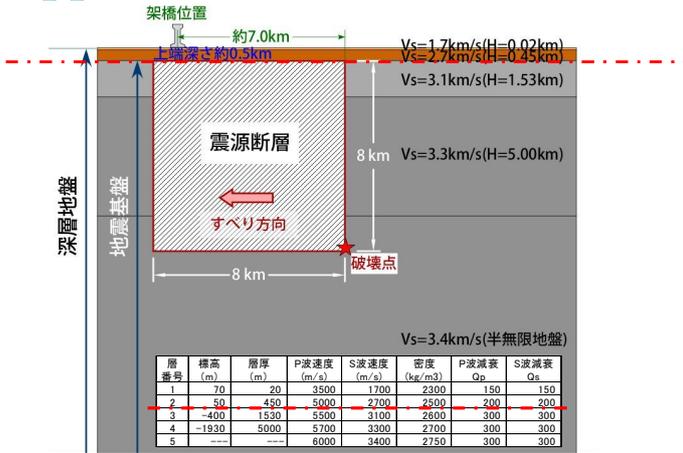


- 対象橋梁は概ね馬場断層に並行、震源断層のすべり方向特性はそのまま橋軸方向に現れる。
- 0kmの場合、橋軸方向の変位量が圧倒的に大きく、最大約1.6m程度の変位と、横ずれ断層による大きな永久変位がみられる。
- 一方、断層の上端深さ2.0kmと0.5kmに設定したケースでは、橋軸方向の変位量は比較的小さく適当な量である。
- 浅部破壊を視野に入れ、説明性の高い0.5kmを想定する。

【最大変位】	P3(案4) 最大変位の比較 (単位:cm)			
	想定地震	記号	橋軸方向	橋軸直角方向
有馬-高槻断層帯 -馬場断層連動	南西側から破壊	A32★9+B02	164.56	109.10
	南西側から破壊	A32★9+B12	63.12	84.21
	南西側から破壊	A32★9+B22	57.34	62.20
【永久変位】	P3(案4) 永久変位の比較 (単位:cm)			
	想定地震	記号	橋軸方向	橋軸直角方向
有馬-高槻断層帯 -馬場断層連動	南西側から破壊	A32★9+B02	157.05	47.48
	南西側から破壊	A32★9+B12	55.79	40.53
	南西側から破壊	A32★9+B22	50.95	35.33



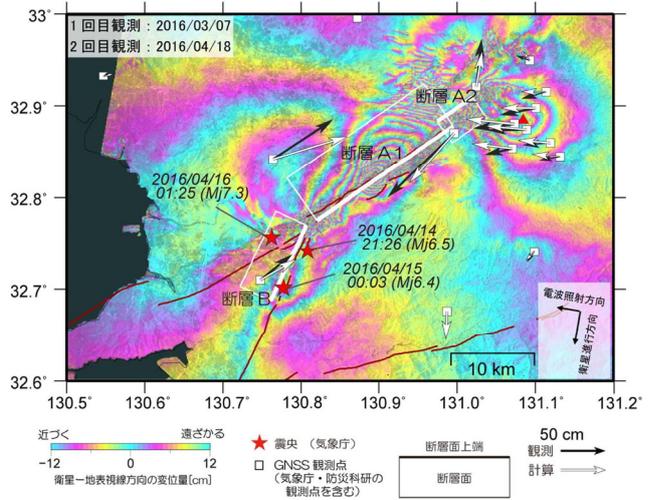
# Appendix7：馬場断層の地盤モデルと熊本地震の震源断層モデル



- 震源断層の上端深さについては、微小地震発生層の上限深さ(微小地震の浅さ限界)と一致するものとする。
- 微小地震の浅さ限界は、 $V_p$ (P波速度)=5.8~5.9km/secの層の上限と良い相関がある。
- 平均破壊伝搬速度は経験的に2.4~3.0km/secを得ており、S波速度の0.72~0.8倍である。
- S波速度が3km/secの地層を地震基盤と呼び、これを地震発生層とみなす。

大日本ダイヤコンサルタント株式会社  
Dia Nippon Engineering Consultants Co., Ltd.

H28熊本地震の震源断層モデル

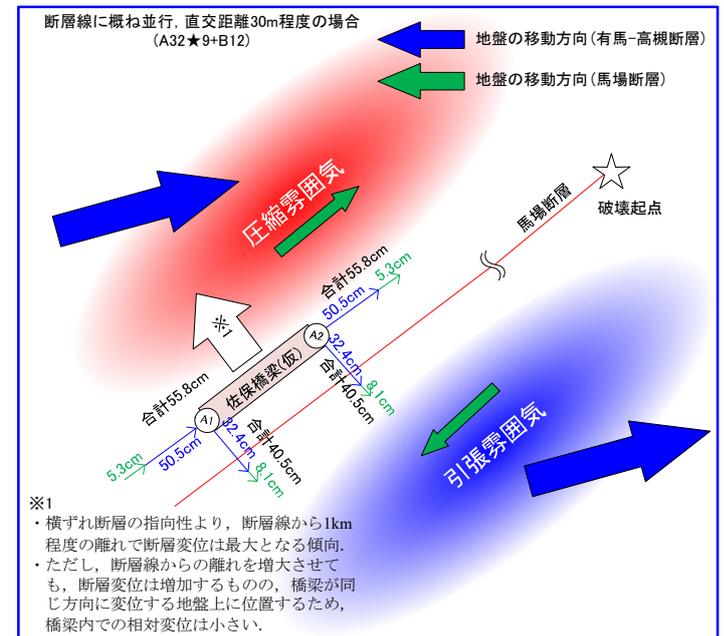
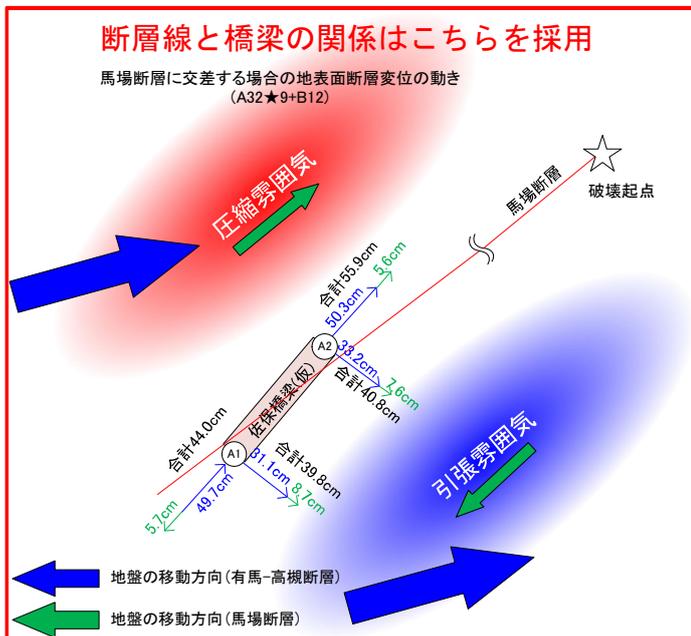


	経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向 [°]	傾斜 [°]	滑り角 [°]	滑り量 [m]	M <sub>w</sub>
断層 A1	130.996	32.878	0.6	20.0	12.5	235	60	209	4.1	6.96
断層 A2	130.975	32.883	0.2	5.1	6.6	56	62	178	3.8	6.36
断層 B	130.807	32.770	0.8	10.2	13.0	205	72	176	2.7	6.65

※矩形断層3枚での推定結果。位置は断層の左上端を示す。

## 10.断層と交差することの想定

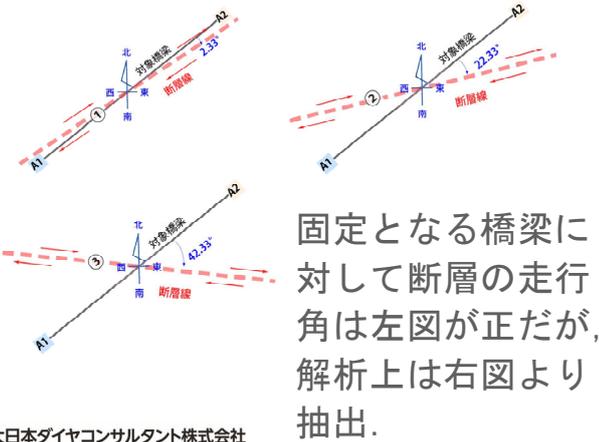
- 並行する想定(下右図)：断層線から離れる想定では断層変位の絶対量は、**橋梁内に相対変位はほとんど生じない。**
- 交差する想定(下左図)：断層線を跨いだ左右地盤に相対変位が生じる(下左図)。
- 最悪シナリオとして、**佐保橋梁(仮)に最近接する馬場断層を交差することを想定。**



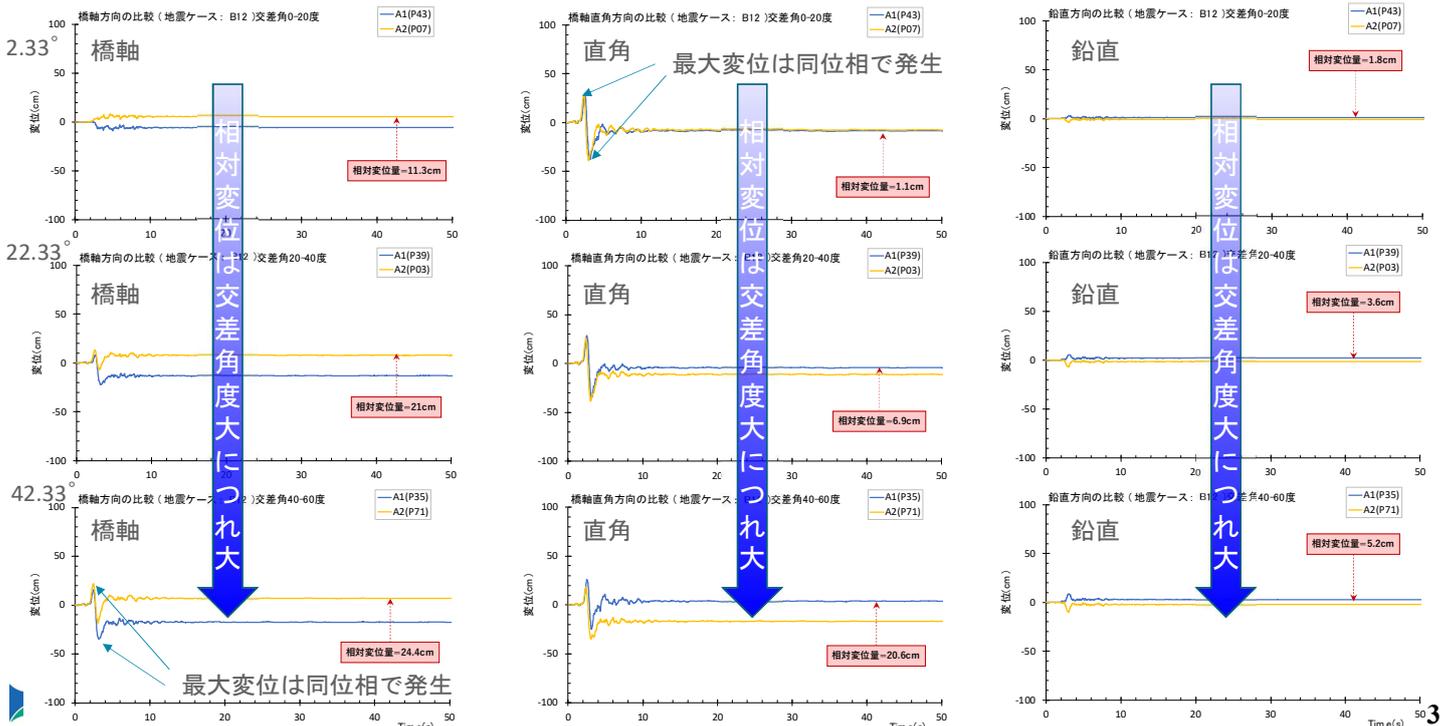
※1  
・横ずれ断層の指向性より、断層線から1km程度の離れて断層変位は最大となる傾向。  
・ただし、断層線からの離れを増大させても、断層変位は増加するものの、橋梁が同じ方向に変位する地盤上に位置するため、橋梁内での相対変位は小さい。

# 10.1 橋梁と馬場断層の交差角度の想定

- 交差角度の感度分析により、交差角度を想定.
- 検討ケースは、 $5^\circ$  ( $2.33^\circ$ ),  $25^\circ$  ( $22.33^\circ$ ),  $45^\circ$  ( $42.33^\circ$ )の3ケース.
- $45^\circ$  を超える想定は橋梁方向角と断層走行角の関係より考えにくい.
- 有馬-高槻断層帯は、交差角度による相対変位にはほぼ影響が無いとして単独で試算.



# 10.2 交差角度の感度(B12単独破壊ケースで試算)



## 10.3 交差角度の感度(B12単独破壊ケースで試算)

### 【最大変位】

地震ケース：B12		工学的基盤面の最大変位(cm)		
断層線との交差角度	橋台・橋脚記号	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
2.33度	A1(P43)	-8.7	-37.8	3.2
	A2(P07)	7.9	-39.1	-3.7
22.33度	A1(P39)	-22.3	-35.2	5.8
	A2(P03)	13.0	-38.7	-6.9
42.33度	A1(P35)	-34.6	26.1	8.7
	A2(P71)	22.0	-35.1	-9.8

交差角度が大きいほど、相対変位は大。

断層線方向と橋梁の交差角に起因。

42.33°の交差角を想定する。

### 【永久変位】

地震ケース：B12		工学的基盤面の永久変位(cm)		
断層線との交差角度	橋台・橋脚記号	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
2.33度	A1(P43)	-5.7	-8.7	1.1
	A2(P07)	5.6	-7.6	-0.7
22.33度	A1(P39)	-13.2	-4.5	2.2
	A2(P03)	7.8	-11.3	-1.4
42.33度	A1(P35)	<b>-17.6</b>	3.6	<b>3.0</b>
	A2(P71)	6.8	<b>-17.0</b>	-2.2

①断層線を跨ぐ左右地盤の相対変位は断層に並行する成分が卓越(右横ずれ断層)

→交差角が大きいほど橋軸直角方向へ影響

②断層線からの離れが大きくなるにつれ、断層と並行する方向の絶対変位量は大

→交差角が大きいほど、橋梁起終端の離れも大きくなり、橋軸方向へ影響、ただし共役断層ではないと考えられるため、45度を超える想定はしない。

### 【相対変位】

地震ケース：B12		工学的基盤面の相対変位量(cm)		
断層線との交差角度	計測位置	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
2.33度	A1(P43)とA2(P07)	11.3	1.1	1.8
22.33度	A1(P39)とA2(P03)	21.0	6.9	3.6
42.33度	A1(P35)とA2(P71)	<b>24.4</b>	<b>20.6</b>	<b>5.2</b>

35

## 11.検討結果のまとめ

### 位置付け

・断層変位を考慮した最悪シナリオ、照査用地震動

### 破壊パターン

・有馬-高槻断層帯と馬場断層が連動、北東側破壊

### 上端深さ

・熊本地震：浅部破壊の可能性(1.6m程度)  
 ・2km過小、0km過大(1m以上)、  
 ・地盤構造より、説明性が高い0.5kmが妥当。

### 交差角度

・断層線を跨ぐ相対変位が影響大→馬場断層と交差を想定。  
 ・現実的に45度を上限とする交差角度を想定、感度分析。  
 ・交差角度が大きいほど、相対変位は大。  
 ・45度(解析モデル上は42.33度)を想定する。

## 12.時刻歴応答解析

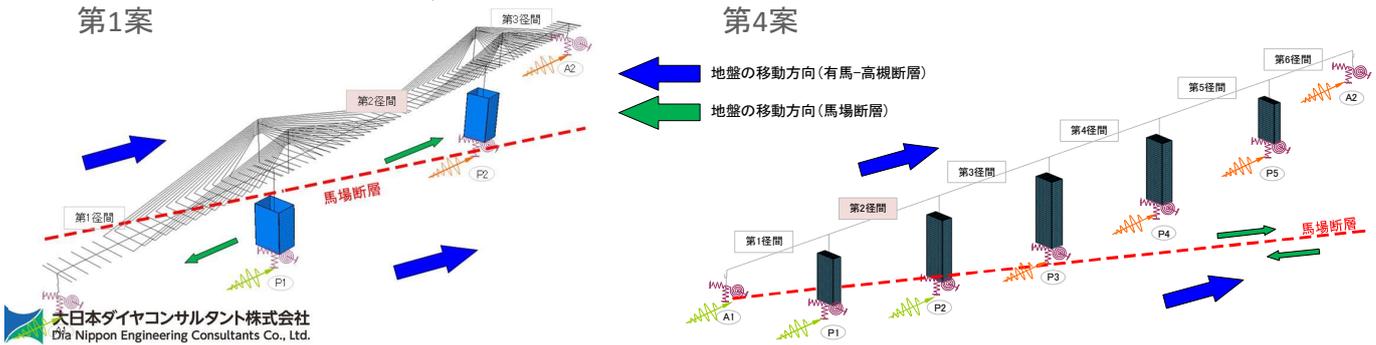
- 断層変位の影響を考慮した3次元静的漸増解析の結果を踏襲し、限界断層変位量が橋軸方向、橋軸直角方向ともに最小となる第2径間で、馬場断層と交差する想定で時刻歴応答解析を行う。

各案のケース毎  
限界断層変位量  
※第2径間と交差  
の想定がMin

	橋軸方向				橋軸直角方向			
	第1案	第2案	第3案	第4案	第1案	第2案	第3案	第4案
CASE1	0.800	0.800	0.800	0.800	6.920	6.420	0.282	6.420
CASE2	0.648	0.360	0.216	0.378	6.920	1.047	0.252	0.801
CASE3	-	0.606	0.318	0.558	-	1.116	0.201	0.867
Min	0.648	0.360	0.216	0.378	6.920	1.047	0.201	0.801

第1案

第4案

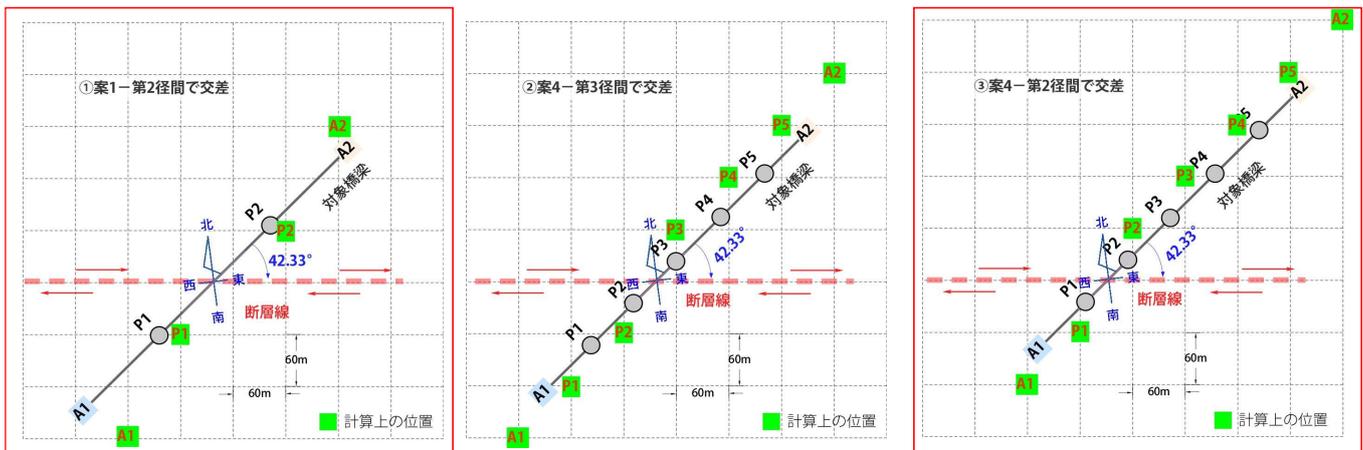


大日本ダイヤコンサルタント株式会社  
Dia Nippon Engineering Consultants Co., Ltd.

37

## 12.1 使用する入力地震動

-ハイブリッド法で作成した工学的基盤面波形をSHAKEで引き上げ-



A32★9+B12		工学的基盤面の相対変位量(cm)			A32★9+B12		工学的基盤面の相対変位量(cm)		
馬場断層の交差位置	計測位置	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向	馬場断層の交差位置	計測位置	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
案1-第2径間交差	P1(C12)とP2(C12)	8.76	<b>8.28</b>	<b>2.93</b>	案1-第2径間交差	A1(C12)とA2(C12)	24.6	22.7	7.9
案4-第3径間交差	P2(C43)とP3(C43)	8.70	7.44	2.11	案4-第3径間交差	A1(C43)とA2(C43)	<b>28.1</b>	25.4	<b>8.6</b>
案4-第2径間交差	P1(C42)とP2(C42)	<b>8.80</b>	7.87	2.33	案4-第2径間交差	A1(C42)とA2(C42)	27.5	<b>25.7</b>	7.9

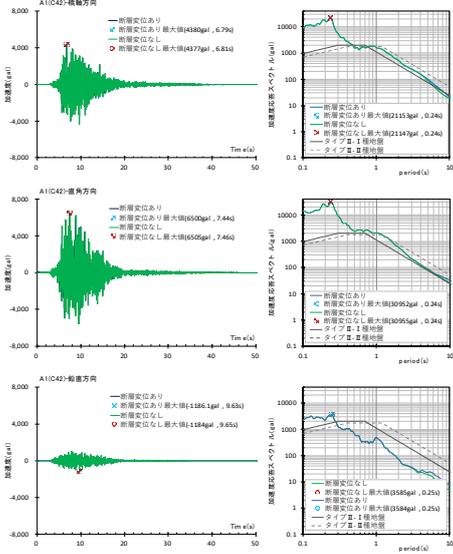
大日本ダイヤコンサルタント株式会社  
Dia Nippon Engineering Consultants Co., Ltd.

38

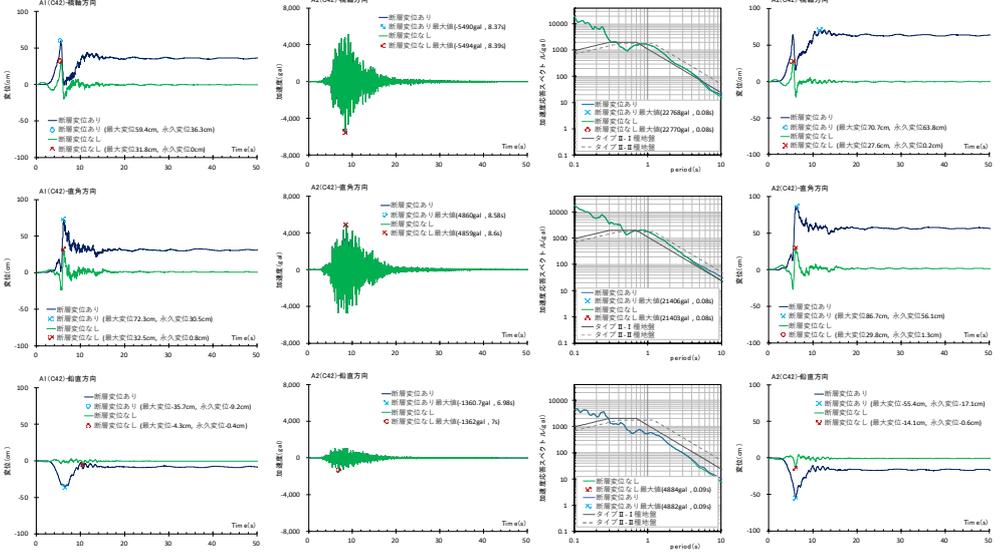
# 12.1 使用する入力地震動-第4案を代表に示す-

-ハイブリッド法で作成した工学的基盤面波形をDYNEQで引き上げ-

A1橋台



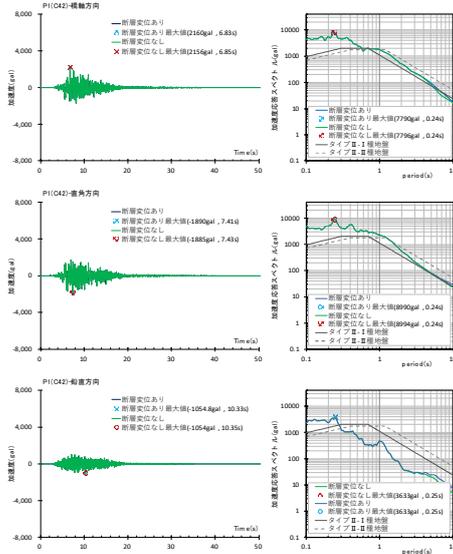
A2橋台



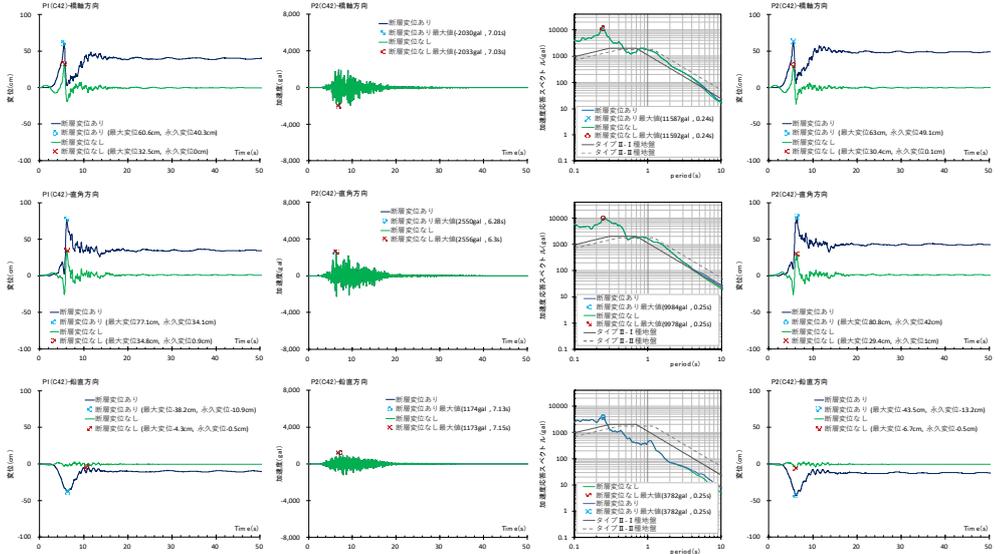
# 12.2 使用する入力地震動-第4案を代表に示す-

-ハイブリッド法で作成した工学的基盤面波形をDYNEQで引き上げ-

P1橋脚



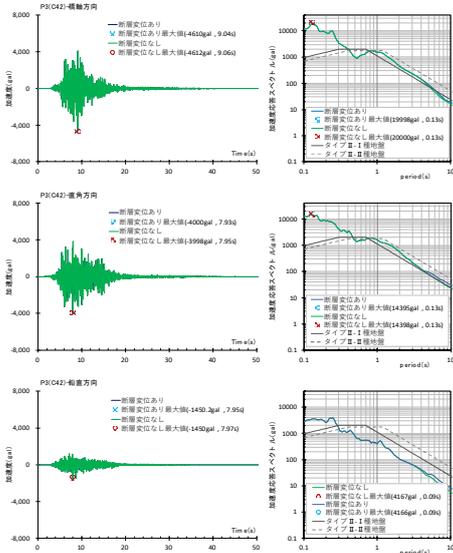
P2橋脚



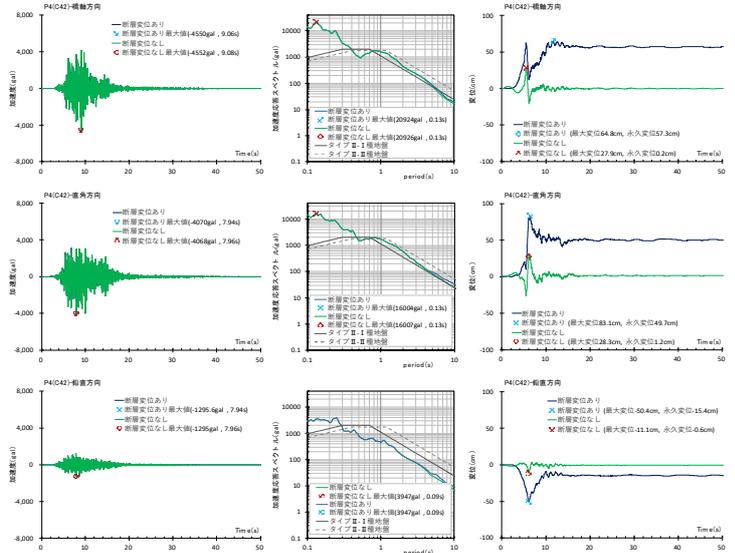
## 12.3 使用する入力地震動-第4案を代表に示す-

-ハイブリッド法で作成した工学的基盤面波形をDYNEQで引き上げ-

P3橋脚

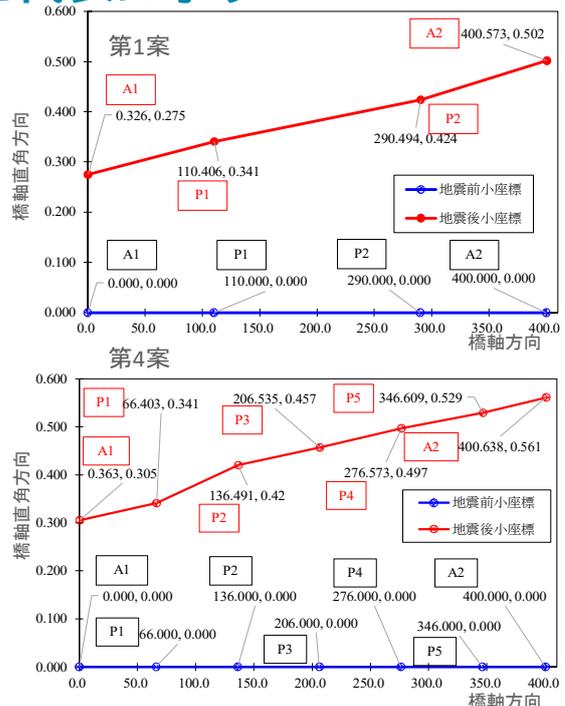
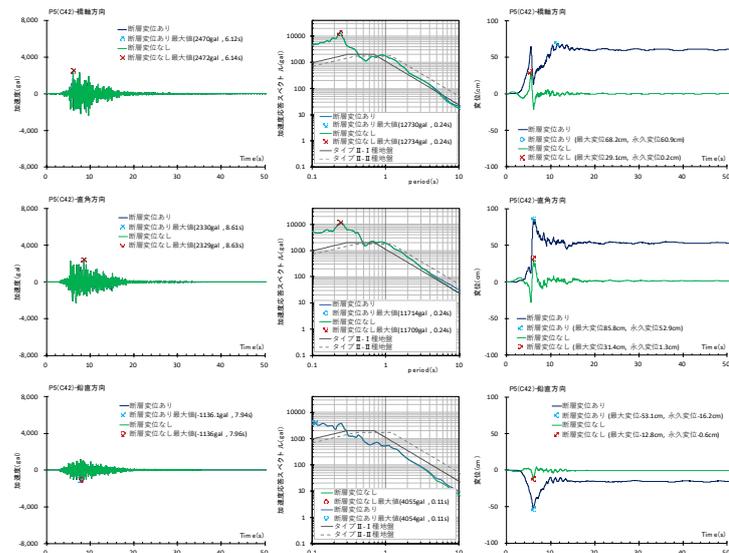


P4橋脚

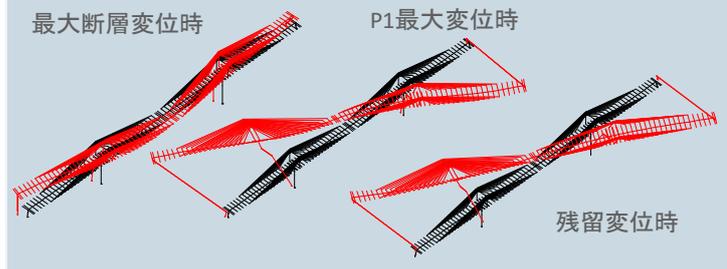
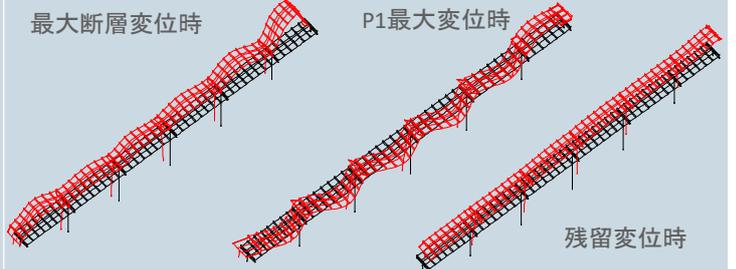


## 12.4 使用する入力地震動-第4案を代表に示す-

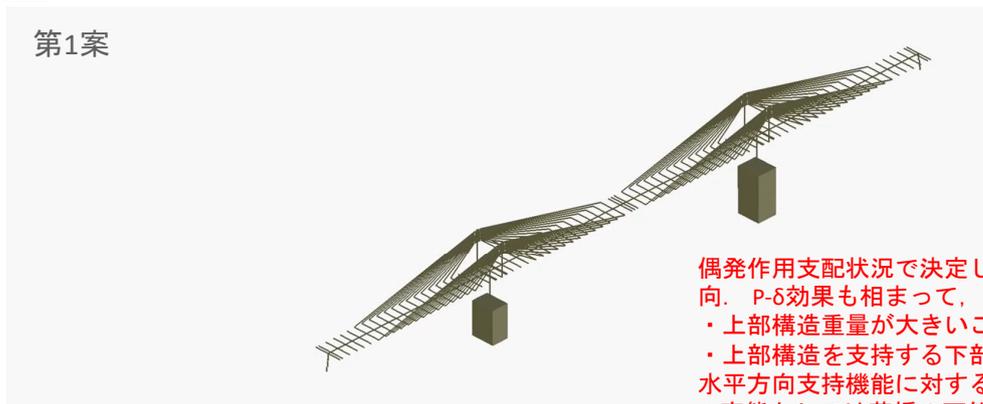
P5橋脚



# 13.解析結果のまとめ

第1案 / PC3径間エクストラード橋	第4案 / 鋼6径間連続細幅箱桁橋
<ul style="list-style-type: none"> <li>上部構造：面内、面外ともに降伏を超える曲率発生、せん断耐力を超えるせん断力発生。</li> <li>下部構造：限界状態3を超過、せん断耐力超過。</li> <li>上下部接続部：免震支承は300%ひずみを超過。端部は限界移動量超過、固定装置破損</li> <li>基礎構造：P2橋脚に限界状態1を超える変位発生。</li> <li>桁遊間、桁かかり長：桁衝突発生、桁かかり長は満足。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上部構造：降伏ひずみを超えるひずみ発生、死荷重時ひずみに比して残留ひずみが増加。</li> <li>下部構造：限界状態3を超過、せん断耐力超過。</li> <li>上下部接続部：免震支承は250%ひずみを超えない。端部は限界移動量超過、固定装置破損</li> <li>基礎構造：限界状態1を超えない。</li> <li>桁遊間、桁かかり長：桁衝突発生、桁かかり長は満足。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>最大応答は、いずれの照査項目においても地震動の影響が支配的、断層変位は応答にさほど影響しない。</li> <li>鉛直地震動の影響は、第1案の上部構造面内方向の曲率やせん断力の増加に寄与する。</li> <li>断層変位の影響は、下部構造や支承、遊間に、残留変位の増加として影響する。</li> </ul>	
 <p>最大断層変位時 P1最大変位時 残留変位時</p>	 <p>最大断層変位時 P1最大変位時 残留変位時</p>

# 14.動的解析のアニメーション



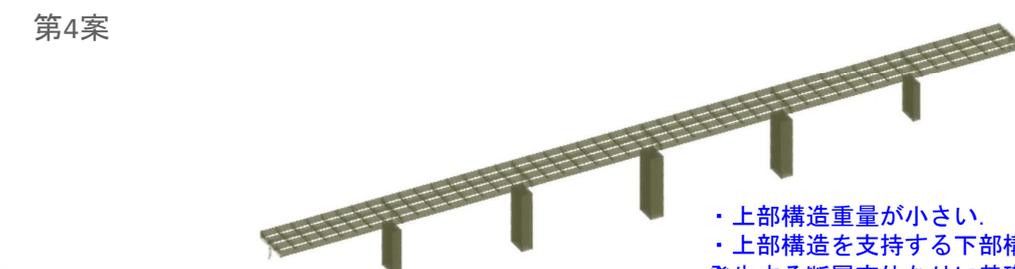
上部構造重量の比較[kN]

下部構造 No.	直角方向分担重量		比率 (第1案/第4案)
	第1案	第4案	
A1	40,756.7	18,946.0	2.15
P1	147,030.3	23,884.5	6.16
P2	128,577.0	26,508.9	4.85
P3	-	30,964.5	-
P4	-	25,892.9	-
P5	-	25,593.4	-
A2	49,102.5	13,955.1	3.52
合計	365,466.5	165,745.3	2.20

偶発作用支配状況で決定した構造諸元では、構造不安定となる傾向。P-δ効果も相まって、大変形から復元しない。

- ・上部構造重量が大きいことによる慣性力作用が要因である。
- ・上部構造を支持する下部構造基数が少ない。

水平方向支持機能に対する冗長性に乏しいといえる。  
→実態としては落橋の可能性。



- ・上部構造重量が小さい。
  - ・上部構造を支持する下部構造の基数が相対的に多い。
- 発生する断層変位なりに基礎に変位が残留した状態で概ね元の姿勢に戻る。

## 15.まとめ

- 断層変位により生じる基礎天端に生じる永久変位を模した静的な変位漸増解析により、橋梁の断層変位に対する変位追随性を確認した。その結果、静的な基礎の永久変位に対しては、支間長が大きく剛性が柔らかな構造形式が有利となる。
- 断層変位と重畳する地震動の影響に対する橋の耐荷性能を評価するには、断層変位の時刻歴変位、断層変位の時刻歴変位成分を含む地震動波形を入力した時刻歴応答解析により可能となる。
- ターゲットとする断層や、その断層パラメータなど、既往の知見に基づいて条件を想定することで、断層変位の時刻歴変位成分を含む地震動波形を生成することは可能であるものの、2016年熊本地震でみられた不規則な地表面の永久変位の生成は困難である。
- 横ずれ断層を跨ぐ橋長400m程度の規模の場合は、断層と交差する条件であっても橋梁内に発生する相対変位量は数十cmとさほど大きくはなく、慣性力作用で構造諸元が決定される。

# ご静聴有り難うございました