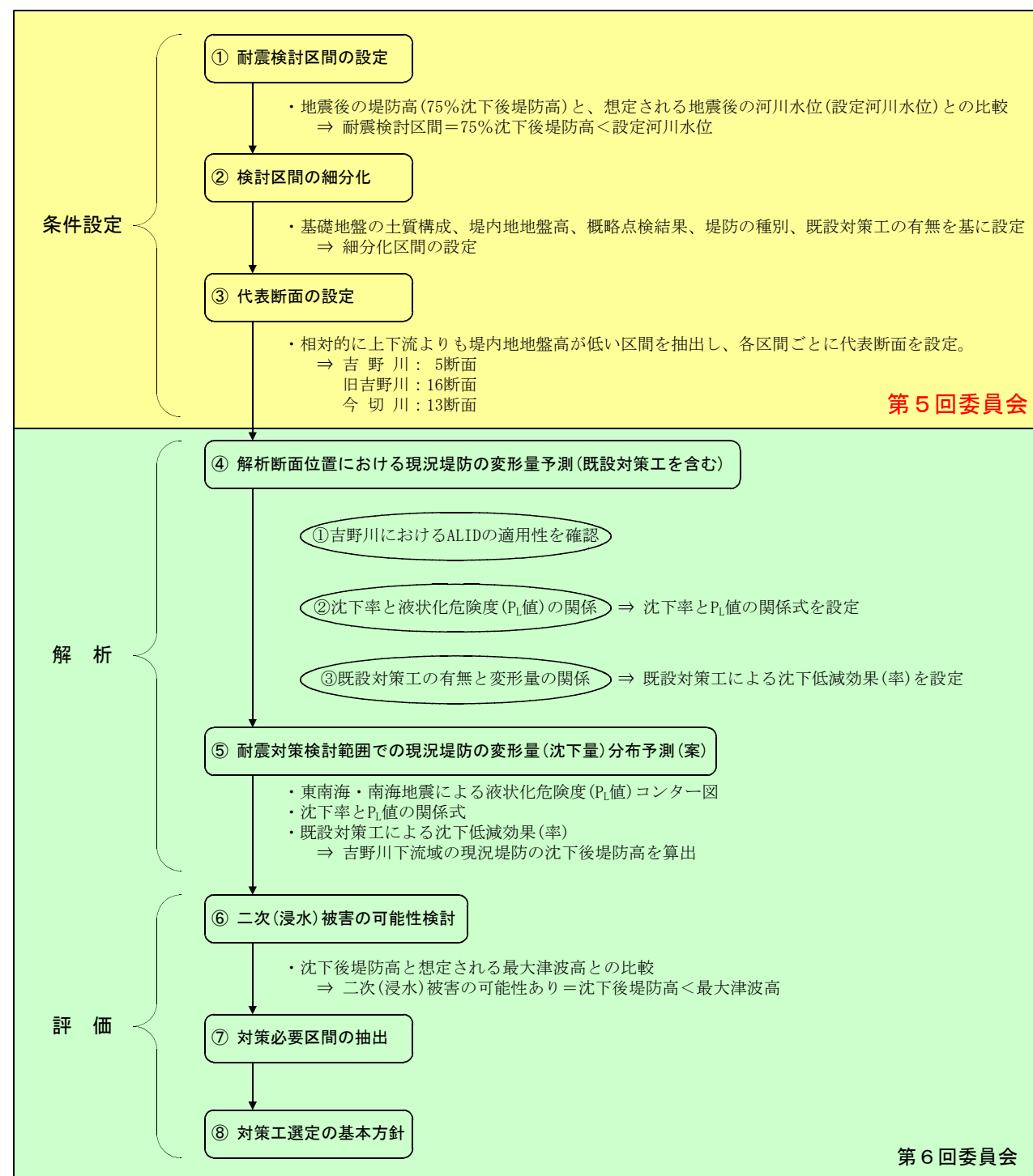


6. 東南海・南海地震に対する堤防の安全性照査

6.1 東南海・南海地震に対する堤防の安全性照査手順

■堤防の安全性照査手順

東南海・南海地震に対する堤防の安全性照査は、以下に示すフロー図に従って実施する。



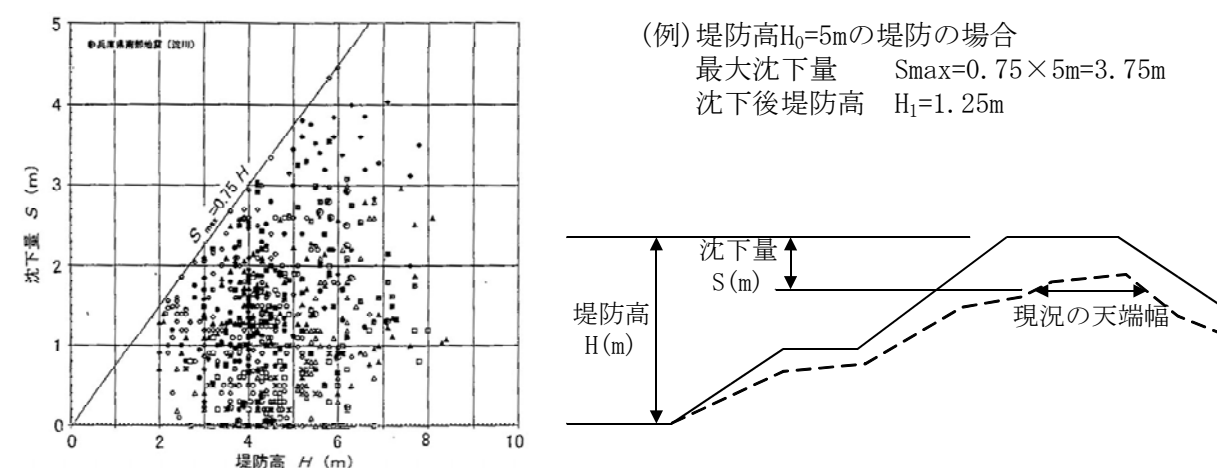
耐震対策検討フロー図

■耐震検討区間の設定

耐震検討区間とは、地震により被災した堤防を河川水が越水して二次(浸水)災害を発生させるおそれがあり、堤防の耐震機能を確保すべき重要な区間である。このため、想定される地震後の堤防高と河川水位を比較して、適切に設定する必要がある。

①地震後の堤防高

過去の多くの被災検証事例から示される「堤防の沈下量と堤防高との関係」は、下図に示すとおりであり、この関係より地震後の堤防高は「75%沈下後堤防高」に設定する。



既往の地震による堤防の沈下量と堤防の高さの関係

出典：河川堤防の構造検討の手引き：財団法人 国土技術研究センター(平成14年7月)

(例) 堤防高H₀=5mの堤防の場合
 最大沈下量 S_{max}=0.75×5m=3.75m
 沈下後堤防高 H₁=1.25m

②地震後の河川水位

「河川堤防の構造検討の手引き：財団法人 国土技術研究センター(平成14年7月)」によれば、地震後の河川水位の設定例として下記の方法を示している。

- ・朔望平均満潮位(湖沼や堰上流の湛水区間にあつては平常時の湛水位) + α (m)
- ・確率規模別高水位(1/1相当水位) + α (m)
- ・計画津波高

ここで、αは潮位偏差および波高などを考慮して設定するものであり、1~2mを目安とする。

吉野川水系においては、計画津波高は設定されておらず、現在、徳島河川国道事務所において東南海・南海地震による最大津波高の検討を行っている。このため、地震後の河川水位は、概略点検(平成7年9月)による詳細点検必要区間の設定方法に準じて、「朔望平均満潮位(A. P. +1.679m) + 2.0m」を設定する。

なお、旧吉野川・今切川の河口堰から上流区間については、朔望平均満潮位(A. P. +1.679m)に代えて、平常時の湛水位(T. P. +0.667m=A. P. +1.5m)を採用する。

吉野川・旧吉野川および今切川(堰下流)：地震後の河川水位=A. P. +3.679m

旧吉野川および今切川(堰上流)：地震後の河川水位=A. P. +3.5m

想定される地震後の堤防高と河川水位より設定した耐震検討区間を以下に示す。

概略点検(平成7年9月)および詳細点検(平成8年3月)と東南海・南海地震に対する耐震検討区間は、それぞれ設定方法の違いにより延長距離は異なる。しかし、吉野川堤防強化検討委員会においては、「河川堤防の構造検討の手引き：財団法人 国土技術研究センター(平成14年7月)」に準じて設定した区間を、「東南海・南海地震に対する耐震検討区間」として採用する。

耐震検討区間一覧表

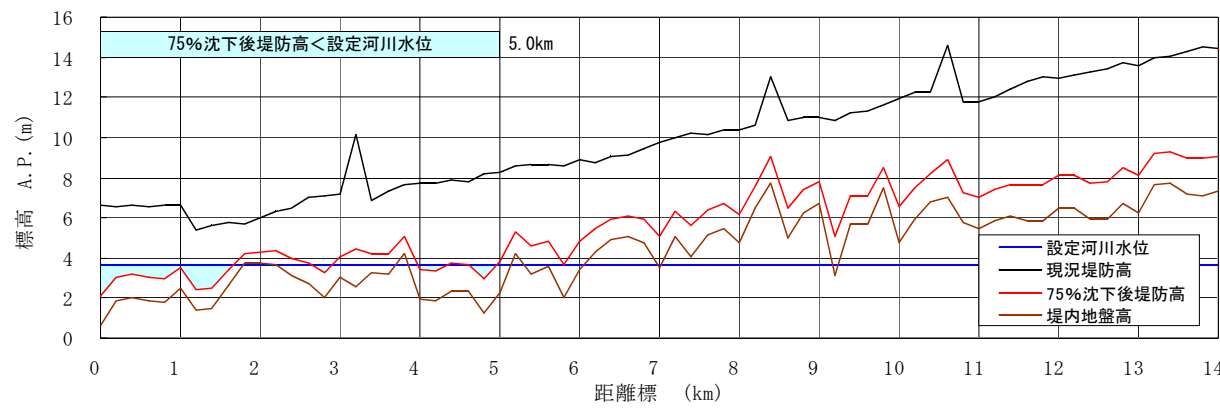
河川名	左右岸	耐震検討区間		
		概略点検(H7.9)	詳細点検(H8.3)	東南海・南海地震に対する点検区間
吉野川	左岸	0.0～9.0km	0.0～9.0 km	0.0～5.0km
	右岸	0.0～7.6km	0.0～5.7 km	0.0～3.8km
旧吉野川	左岸	0.0～13.0km	0.0～12.05km	0.0～11.8km
	右岸	0.0～13.0km	0.0～11.8 km	0.0～12.8km
今切川	左岸	0.0～11.6km	0.0～9.3 km	0.0～10.0km
	右岸	0.0～11.6km	0.0～11.6 km	0.0～11.4km

※耐震検討区間の設定方法

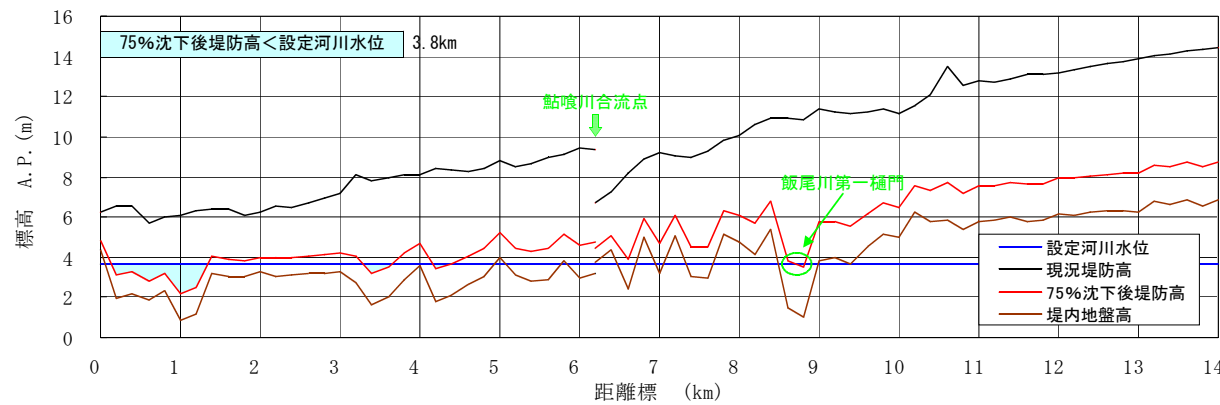
- ①概略点検：「堤内地盤高<朔望平均満潮位(A.P.+2.0m)+1.0m」または「重要施設」
- ②詳細点検：「沈下後堤防高(25～75%沈下)<朔望平均満潮位(A.P.+2.0m)+2.0m」または「重要施設」
- ③東南海・南海地震：「沈下後堤防高(75%沈下)<朔望平均満潮位(A.P.+1.679m)+2.0m」

※現況堤防高の設定：パラペットは耐震性を有していないため、地震による転倒を考慮してパラペット高を除外した。
旧吉野川・今切川の旧堤がある区間については、旧堤高も評価に加味した。

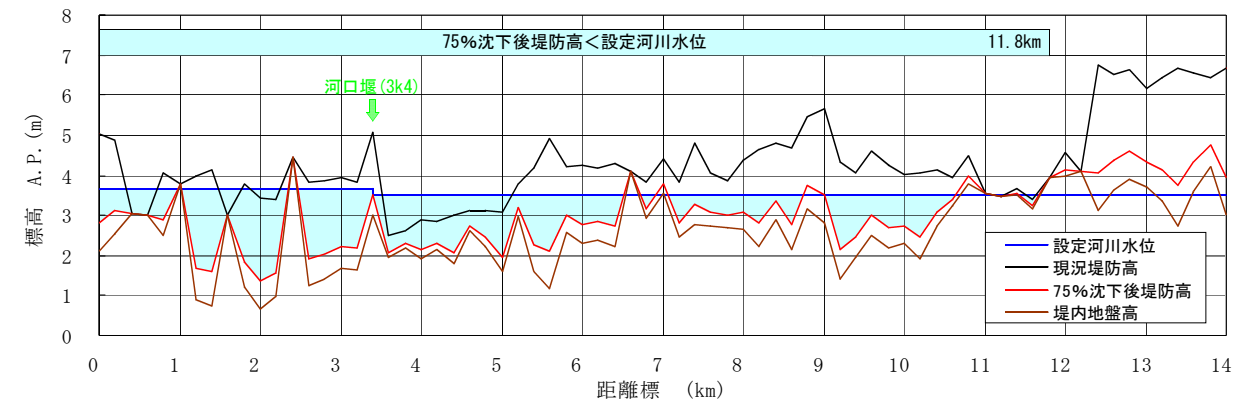
吉野川左岸



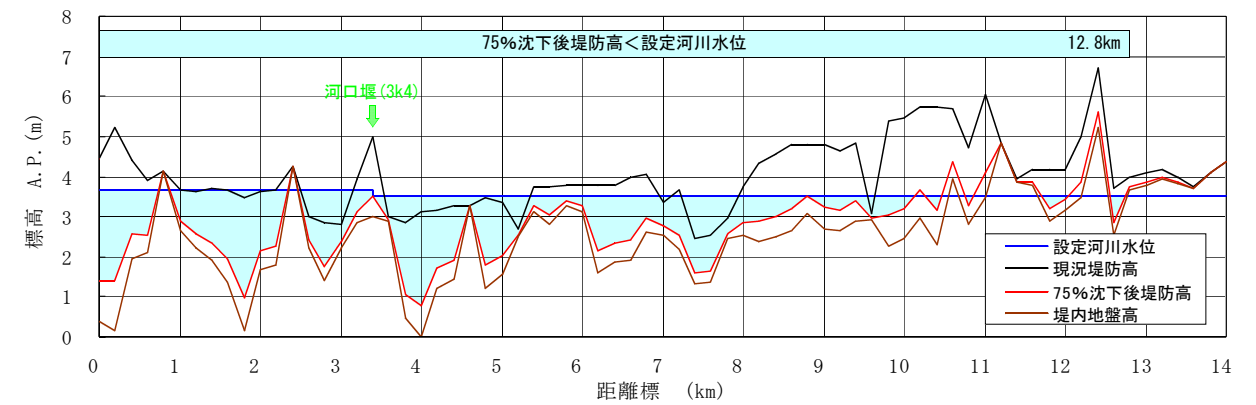
吉野川右岸



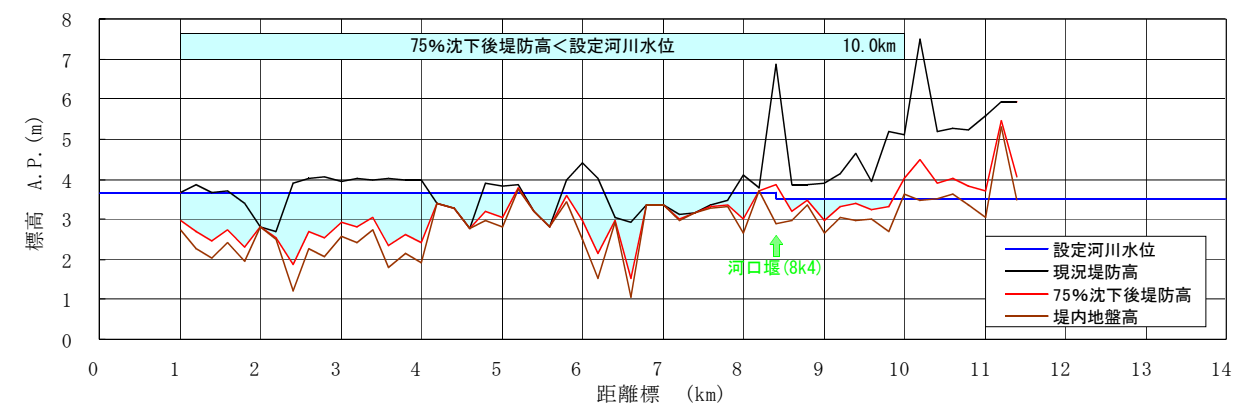
旧吉野川左岸



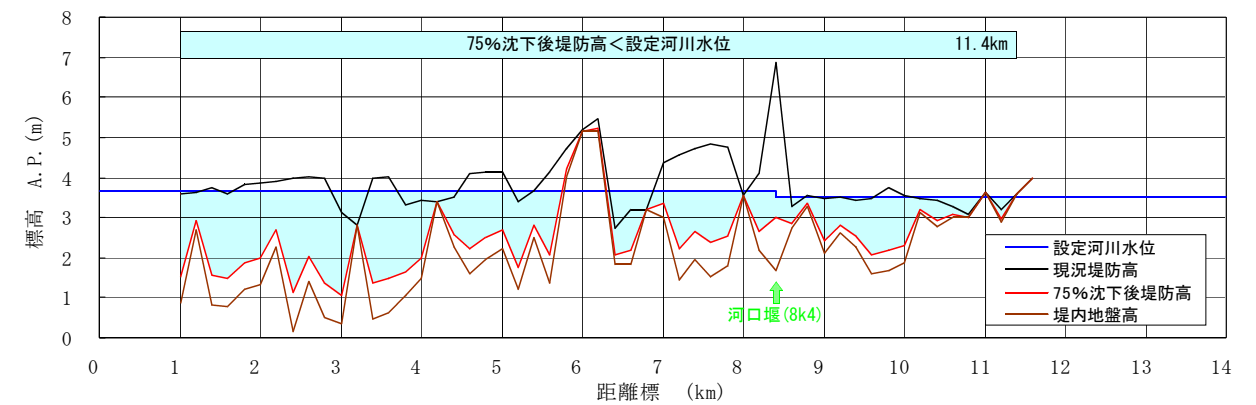
旧吉野川右岸



今切川左岸



今切川右岸



■検討区間の細分化

「河川堤防設計指針：国土交通省河川局治水課(平成14年7月)」によれば、地震に対する安全性という観点から一連区間を細分することとしている。これは安全性照査の効率化を図るためのもので、細分化区間がそれぞれの照査の単位となる。

細分の指標となるのは、堤体および基礎地盤の土質構成、堤内地の地盤高、堤防の種別、既設対策工の有無が考えられるが、特に重要なのは基礎地盤の土質構成である。

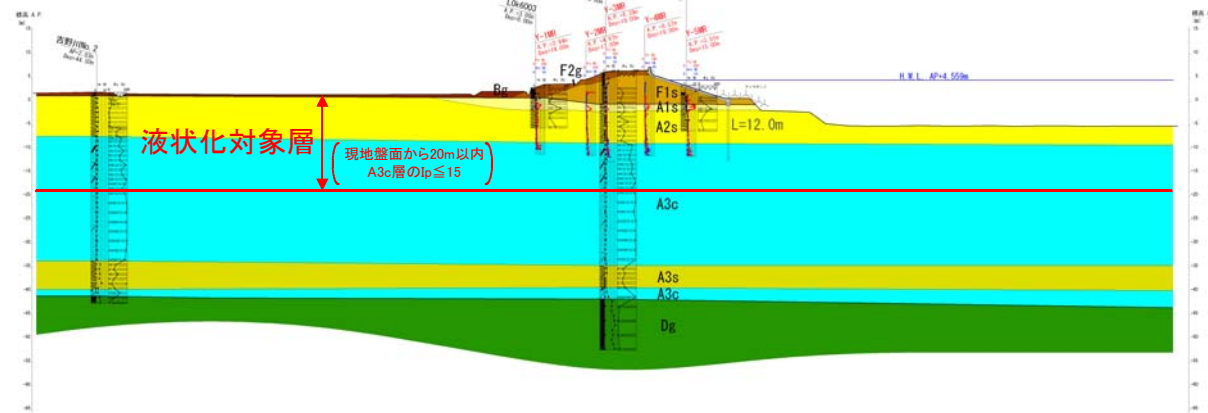
以下に細分化の指標を示す。

①基礎地盤の土質構成

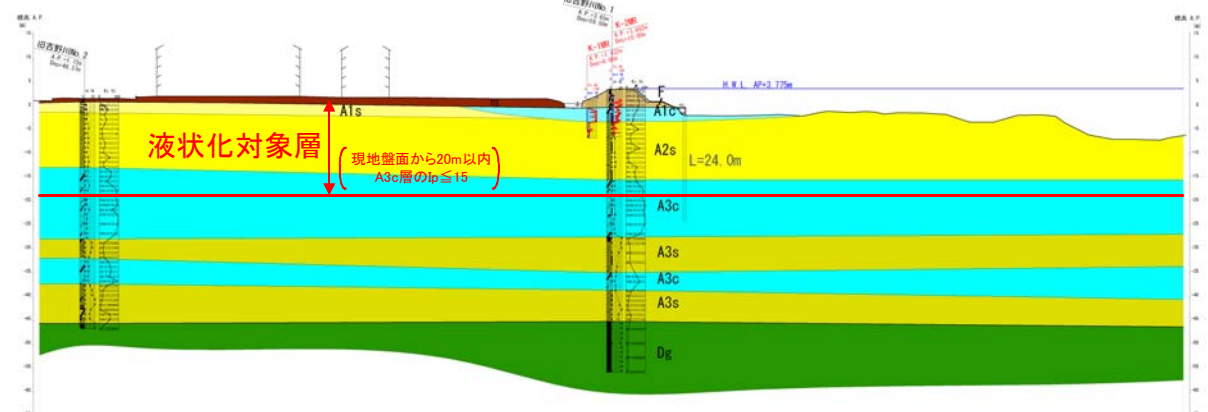
吉野川下流域の代表的な2断面(吉野川, 旧吉野川)における基礎地盤の土質構成を示す。

吉野川下流域における基礎地盤の土質構成は、その形成過程の違いにより、吉野川流域と旧吉野川および今切川流域に大別できる。

吉野川 左岸0k600



旧吉野川 左岸2k600



吉野川下流域における基礎地盤の土質構成

かつての吉野川は、現在の旧吉野川(今切川)を本流としており、現在の第十堰の下流には吉野川の原型となる別宮川が流れていた。このため、吉野川は比較的静穏な堆積環境にあったと考えられ、縄文海進時に堆積した粘性土(A3c)が、層厚25m程度で厚く堆積する。一方、旧吉野川は砂質土と粘性土が互層状に分布しており、洪水の度に粘性土(A3c)が開析され、そこに砂質土(A3s, A2s)が堆積したと考えられる。

堤防直下に分布する現河道の氾濫堆積物は、現在の堆積環境が反映されており、吉野川では粘性土～砂質土が互層状を成す非常に不均質な地層となっている。一方、旧吉野川は層厚が厚く、比較的均質な粘性土を主体とし、静穏な環境で堆積したことが伺える。

②堤内地地盤高

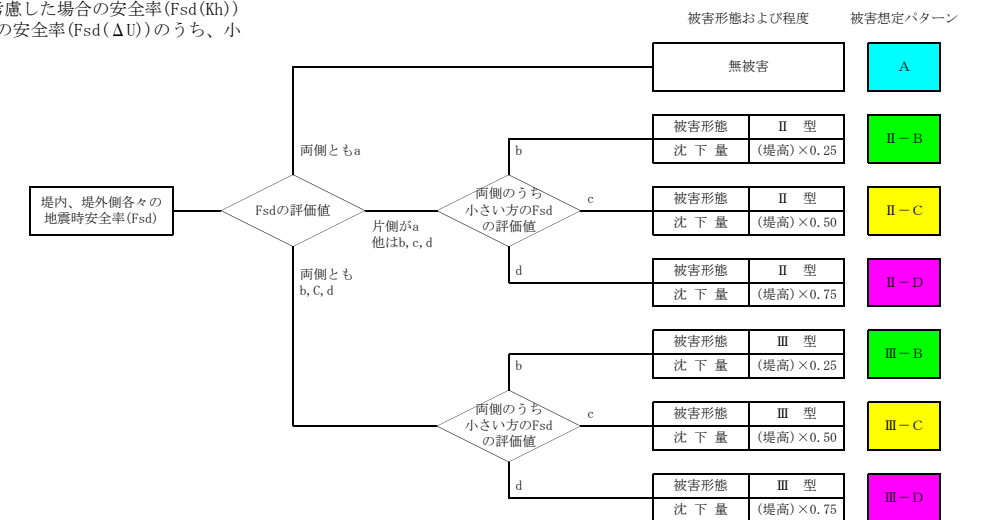
堤内地の地盤高が相対的に低い区間。

③概略点検結果(平成7年9月)

概略点検では、堤体形状、堤体材料、基礎地盤の土質、地震力(中規模地震動)を基に「関連図など」より地震時安全率を算出し、その安全率から被害の有無、形態および程度を想定している。

Fsd評価値	地震時安全率	
	Fsd(Kh)	Fsd(ΔU)
a	1.0 < Fsd	
b	0.8 < Fsd \leq 1.0	
c	Fsd \leq 0.8	0.6 < Fsd \leq 0.8
d	Fsd \leq 0.6	

※地震時安全率(Fsd)は、慣性力のみを考慮した場合の安全率(Fsd(Kh))と、過剰間隙水圧のみを考慮した場合の安全率(Fsd(ΔU))のうち、小さい方を採用



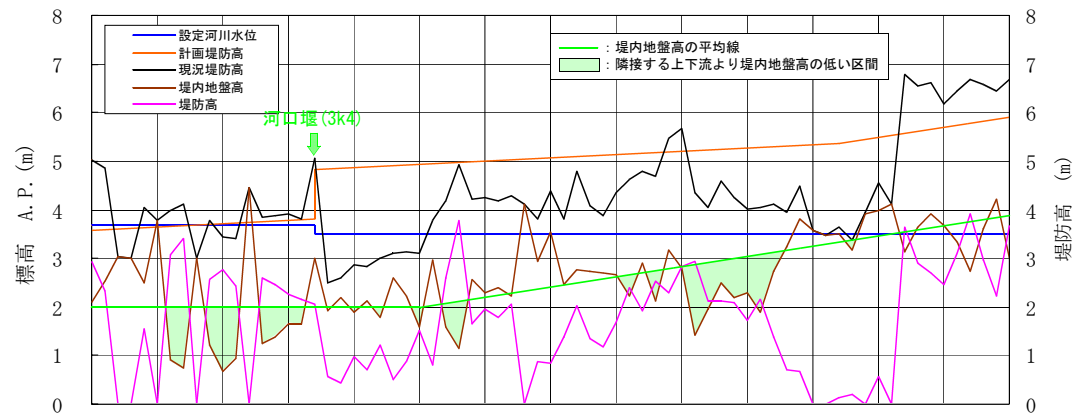
④堤防の種別

河川名	堤防の種別	
吉野川	土堤(高潮堤を含む) 0k000～6k000	
旧吉野川	特殊堤(高潮堤を含む) 0k000～3k400	土堤 3k400より上流
今切川	特殊堤(高潮堤を含む) 1k000～8k400	土堤 8k400より上流

⑤既設対策工の有無

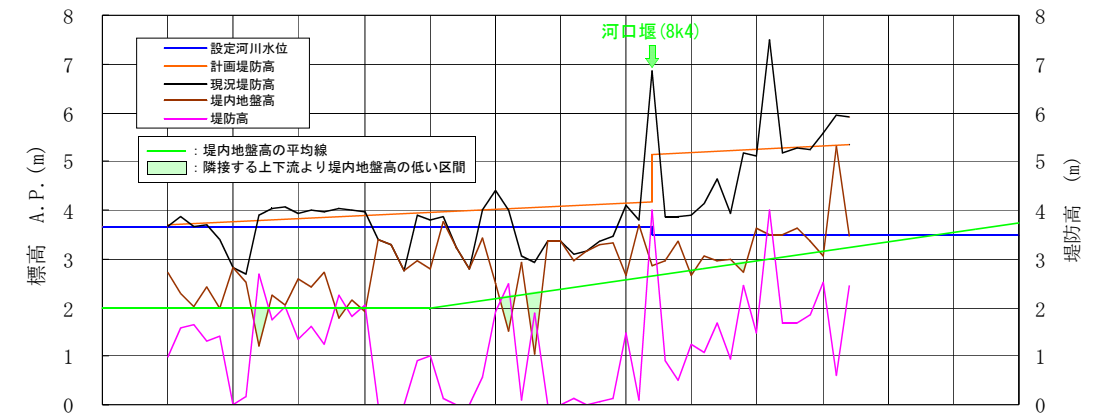
河川名	左右岸	No.	距離標(km)	対策工法(堤外)
吉野川	左岸	①	0k000 ～ 1k571	鋼矢板 III型 : L=12.0～15.0m
旧吉野川	左岸	②	1k055 ～ 1k550	鋼矢板 IVw型 : L=24.0～27.5m
		③	2k490 ～ 2k790	鋼矢板 III型 : L=24.0m
		④	5k204 ～ 5k565	鋼矢板 IIIw型 : L=19.8～21.5m
		⑤	5k585 ～ 5k705	鋼矢板 IVw型 : L=16.0m
		⑥	9k150 ～ 9k410	鋼矢板 IIIw型 : L=22.0m
	右岸	⑦	3k111 ～ 3k230	鋼矢板 IVw型 : L=20.5m
		⑧	3k230 ～ 3k360	鋼矢板 IV型 : L=20.5m
		⑨	4k000 ～ 4k200	鋼矢板 IIIw型 : L=23.5～25.5m
		⑩	4k265 ～ 4k605	鋼矢板 IIIw型 : L=24.0～25.5m
		⑪	6k596 ～ 6k988	鋼矢板 IVw型 : L=24.0m
今切川	右岸	⑫	2k325 ～ 2k882	鋼矢板 III型 : L=20.0m
		⑬	4k484 ～ 4k734	鋼矢板 III型 : L=22.0m
		⑭	4k734 ～ 4k840	鋼矢板 IIIw型 : L=22.0m
		⑮	4k840 ～ 5k002	鋼矢板 III型 : L=22.0m

旧吉野川左岸



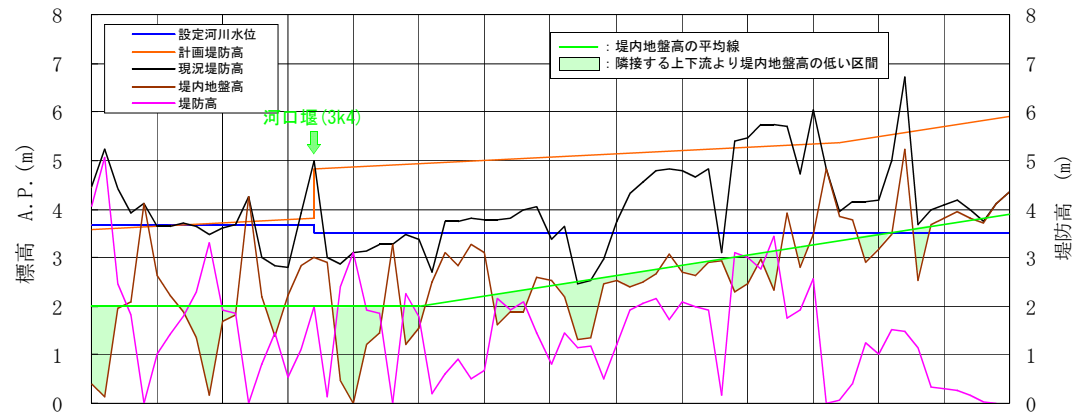
耐震検討範囲	75%沈下後堤防高<設定河川水位																						11.8km
概略点検 (平成7年)	A(無被害)																						
	B(堤防高×25%)																						
	C(堤防高×50%)																						
	D(堤防高×75%)																						
堤防のタイプ	特殊堤											土堤											
既設耐震対策工																							
細分化区間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
堤内地盤高の低い区間																							
グループ区間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11												
既往ボーリング地点																							
代表断面																							
距離標(km)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0										

今切川左岸



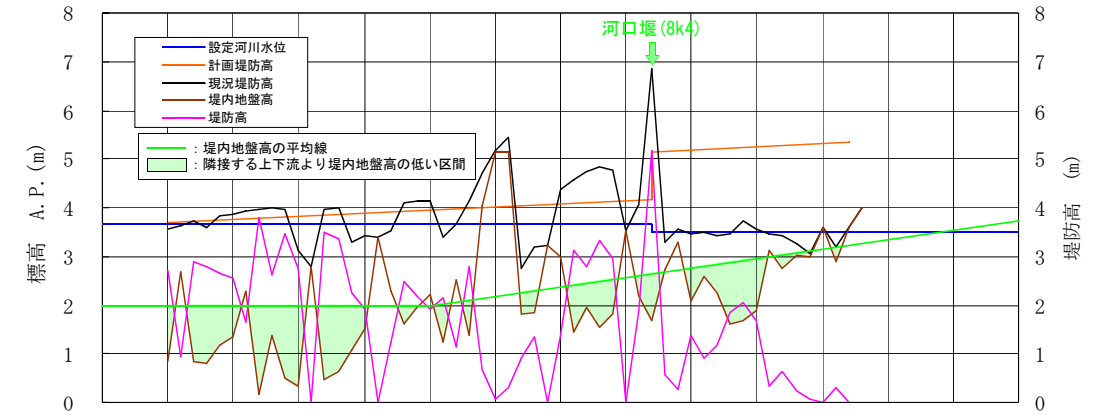
耐震検討範囲	75%沈下後堤防高<設定河川水位												10.0km										
概略点検 (平成7年)	A(無被害)																						
	B(堤防高×25%)																						
	C(堤防高×50%)																						
	D(堤防高×75%)																						
堤防のタイプ	特殊堤										土堤												
既設耐震対策工																							
細分化区間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12											
堤内地盤高の低い区間																							
グループ区間	1	2	3	4	5																		
既往ボーリング地点																							
代表断面																							
距離標(km)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0										

旧吉野川右岸



耐震検討範囲	75%沈下後堤防高<設定河川水位																				12.8km
概略点検 (平成7年)	A(無被害)																				
	B(堤防高×25%)																				
	C(堤防高×50%)																				
	D(堤防高×75%)																				
堤防のタイプ	特殊堤										土堤										
既設耐震対策工																					
細分化区間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
堤内地盤高の低い区間																					
グループ区間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12									
既往ボーリング地点																					
代表断面																					
距離標(km)	0k2	1k8	4k0	6k4	7k4	9k2	10k4	12k6													

今切川右岸



耐震検討範囲	75%沈下後堤防高<設定河川水位																	11.4km
概略点検 (平成7年)	A(無被害)																	
	B(堤防高×25%)																	
	C(堤防高×50%)																	
	D(堤防高×75%)																	
堤防のタイプ	特殊堤										土堤							
既設耐震対策工																		
細分化区間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
堤内地盤高の低い区間																		
グループ区間	1	2	3	4	5	6												
既往ボーリング地点																		
代表断面																		
距離標(km)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0					

※現況堤防高：パラペットは耐震性を有していないため、地震による転倒を考慮して現況堤防高からパラペット高を除外した。

旧吉野川・今切川の旧堤がある区間については、旧堤高も評価に加味した。

計画堤防高：現況堤防高と同様に、計画堤防高からパラペット高を除外した。

6.2 地震に対する堤防の安全性照査方法

■従来の安全性照査方法

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震以降、徳島河川国道事務所では吉野川下流域の堤防を対象として、耐震強化を推進してきた。

この中で、堤防の地震による被害の程度を予測する手法(詳細点検)として、「円弧すべり法」が用いられている。この方法は、基礎地盤の液状化によるせん断強さの低下や地震時慣性力の作用などを取り込んでいるが、得られる結果は安全率であり、堤防の沈下量を直接予測するものではない。これを補完するために、過去の多くの被災検証事例に基づき、安全率と堤防の沈下率との関係が経験的に設定され、この関係を用いて沈下量を推定していた。

しかし、安全率と堤防沈下率の関係の相関はさほど高くなく、過去の地震による堤防沈下率の上限を包含するように設定されているため、過度に安全側の沈下率を与える場合がある。

■東南海・南海地震に対する安全性照査方法

近年、堤防のような土構造物の地震時変形量を解析する手法が著しく進歩してきており、一部の分野では設計実務に用いられ始めている。このような手法を用いることの利点は、地震による変形量を直接得ることができるため、耐震性能が定量的かつ合理的に評価できることである。

代表的な変形解析手法を以下に示す。

- ① LIQCA(Computer Program for Liquefaction Analysis) : FEM動的変形解析
- ② FLIP(Finite Element Analysis of Liquefaction Program) : FEM動的変形解析
- ③ ALID(Analysis for Liquefaction-Induced Deformation) : FEM静的変形解析
- ④ 東畑モデル : 流体力学に基づく解析
- ⑤ 円弧すべり計算(ΔU 法) : 極限平衡法(従来の方法)

各種変形解析手法の特徴

解析手法		特徴	対策工の評価	予測精度	解析費用
有限要素法	動的	<ul style="list-style-type: none"> ・原理的に実際の現象を最も忠実に表現しうるモデル。 ・地震動の特性(振幅, 周波数, 継続時間など)が考慮される。 ・比較的多くのパラメータを設定する必要があり、そのために特殊な試験を必要とする。 ・試験だけで決まらないパラメータの設定があり、結果に影響を及ぼすため、解析者にはある程度の経験が必要。 	考慮可能	高い	高価
	静的	<ul style="list-style-type: none"> ・簡便である。 ・FLに応じて土の剛性を徐々に低下させており、FL<1.0で強度を一律ゼロとするΔU法と比較して実際の土の特性を反映している。 ・地震動の特性が考慮されない。 			
流体力学に基づく解析(東畑モデル)		<ul style="list-style-type: none"> ・簡便である。 ・液状化の程度による土の特性の変化が考慮されない。 ・原則的に1層の液状化層しか考慮できない。 ・地震動の特性が考慮されない(継続時間のみ考慮される)。 	困難	中位	やや高価
円弧すべり法(ΔU 法)		<ul style="list-style-type: none"> ・極めて簡便である。 ・沈下量の予測精度は低いが、数多くの被害事例の上限をとるよう沈下量と安全率の関係が設定されている。 ・地震動の特性が考慮されない。 	設計マニュアルに基づき可能	低い	安価

出典：「河川堤防の地震時変形量の解析方法：財団法人 国土技術研究センター(平成14年2月)」