

実験で捉えられた堤防の浸透破壊現象

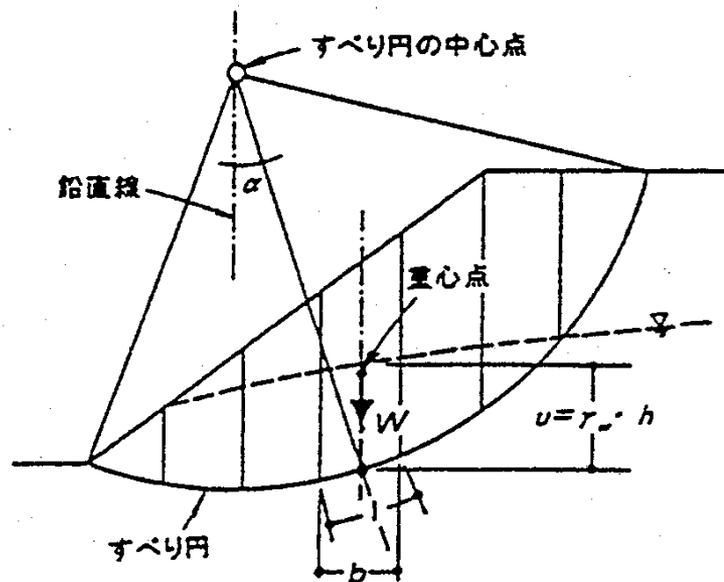
独立行政法人土木研究所
地質・地盤研究グループ
佐々木哲也

浸透に対する堤防の安全性照査

照査基準

基本断面形状を確保したうえで、以下の項目について照査

① 被覆土層なし



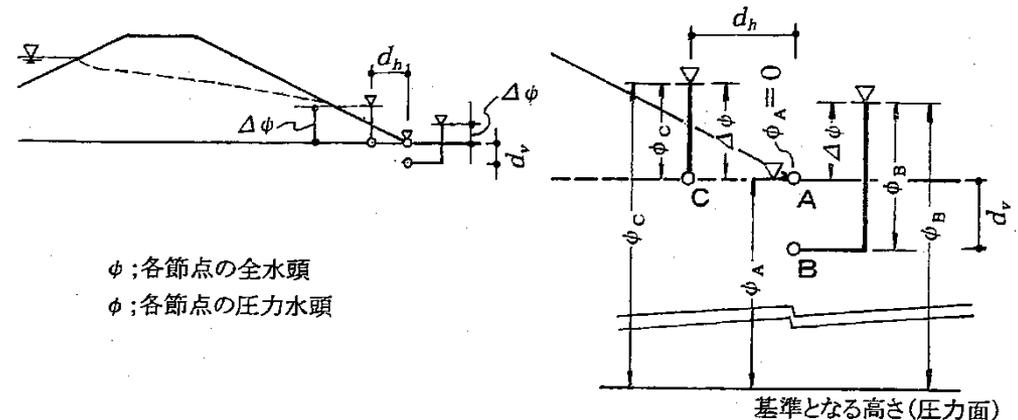
表のり: $F_s \geq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$

α_1 : 築堤履歴の複雑さに対する割増し係数

α_2 : 基礎地盤の複雑さに対する割増し係数

裏のり: $F_s \geq 1.0$

すべり破壊に対する安全性

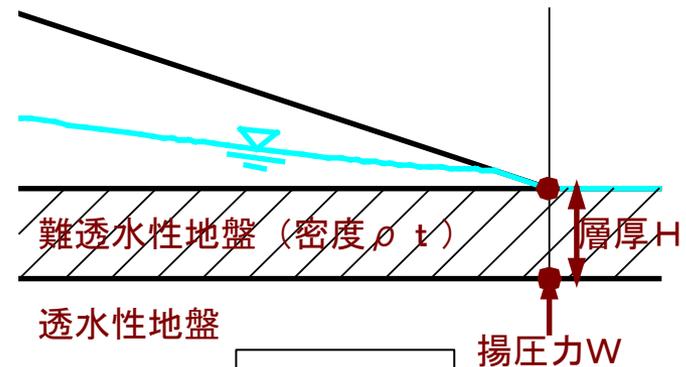


ϕ : 各節点の全水頭
 ϕ : 各節点の圧力水頭

基準となる高さ(圧力面)

局所動水勾配の最大値: $i < 0.5$

② 被覆土層あり



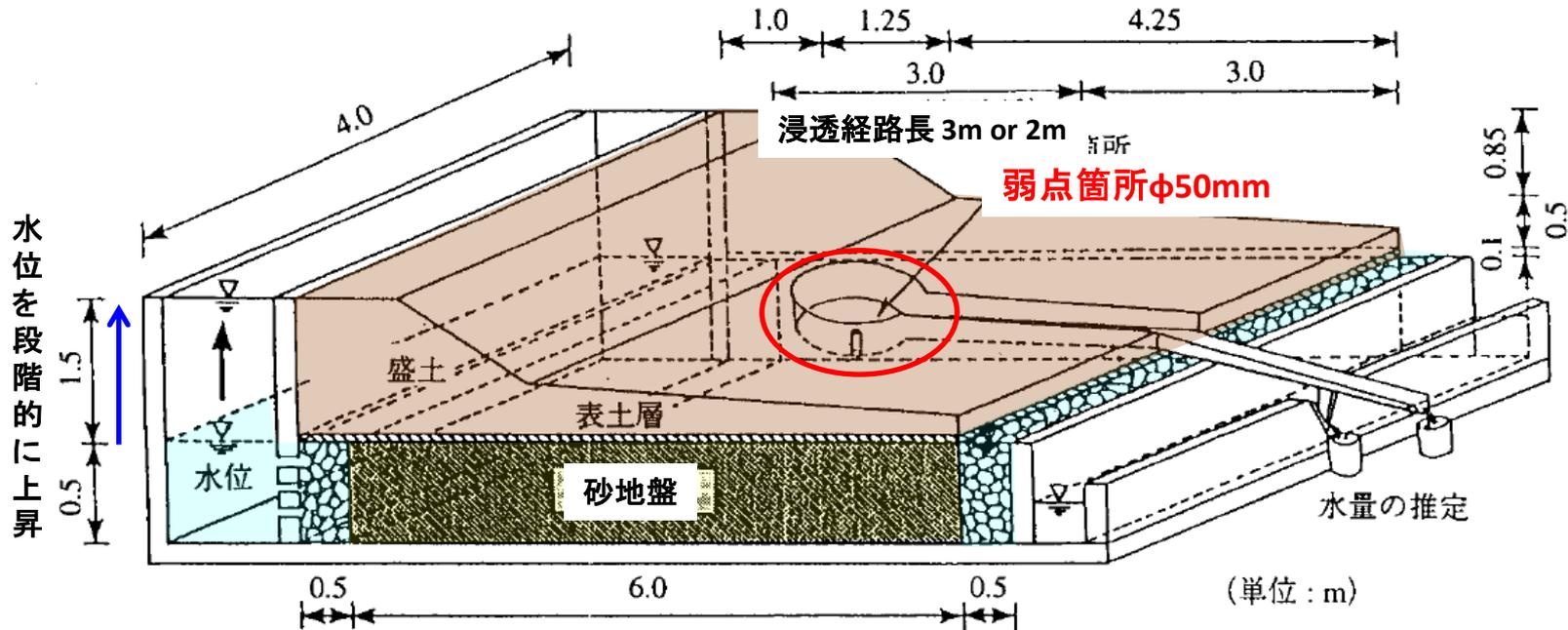
$G/W > 1.0$

パイピング破壊に対する安全性

パイピングに関する大型模型実験

三木, 山田, 藤井, 野口: 堤防基礎地盤のパイピング破壊基準に関する考察, 土木技術資料, 37-12, 1995.

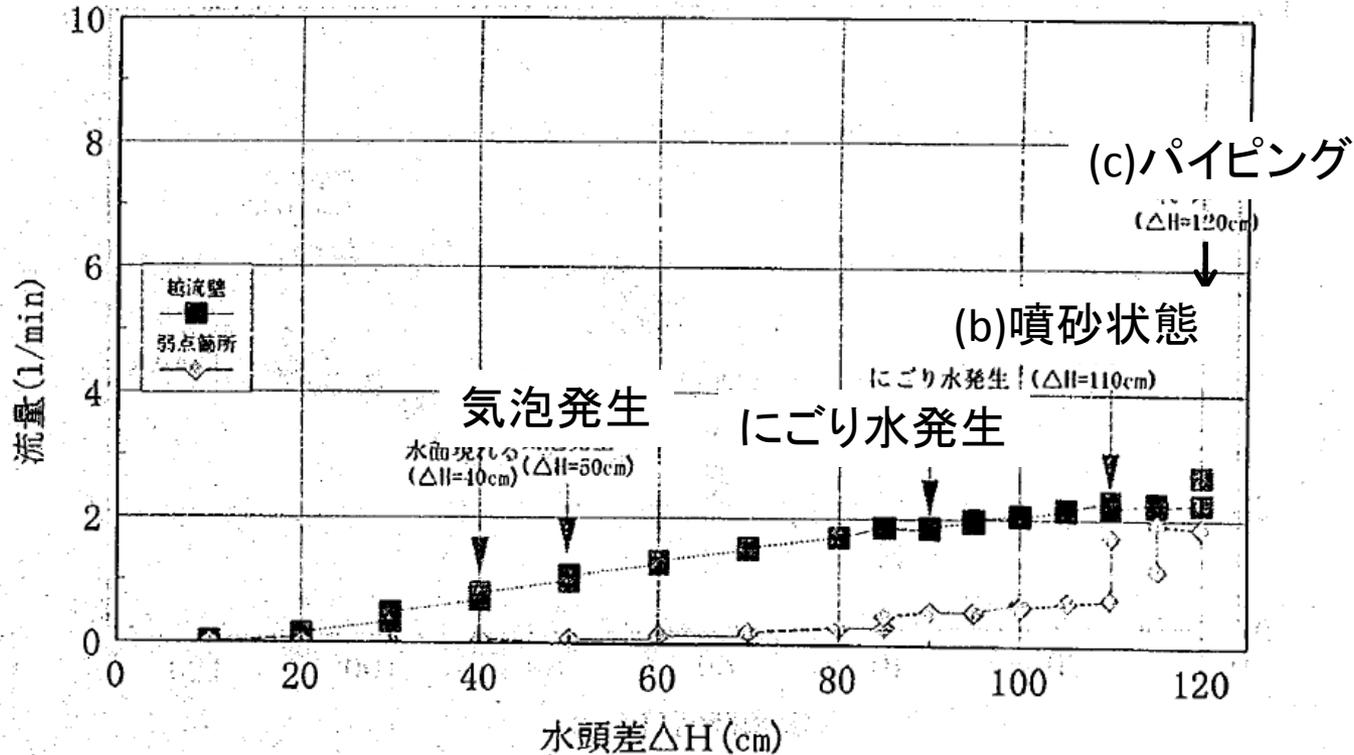
三木, 山田, 藤井, 野口, 佐藤: 堤防基礎地盤のパイピング破壊に関する模型実験, 土木研究所資料, 第3399号, 1996.



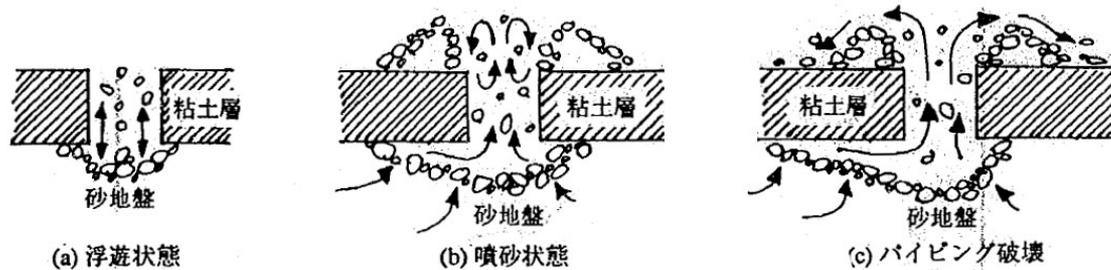
ケース	地盤使用砂	浸透経路長
15	霞ヶ浦(美浦)	3m
16	鬼怒川	3m
17	利根川	3m
18	江戸川(シルト混じり)	3m
19	霞ヶ浦(麻生1)	3m
20	玉造	3m
21	鬼怒川	3m
22	霞ヶ浦(麻生2)	3m
23	利根川下流	2m
24	長良川	3m
25	霞ヶ浦(西の州)	3m
26	江戸崎	2m
27	小貝川(吉沼)	2m
28	渡良瀬川	3m

比較的緩い砂を対象
D50:0.121~0.632mm
最大粒径:2~26.5mm
Fc:1~31%
Uc:2.05~40.93

パイピングに関する大型模型実験



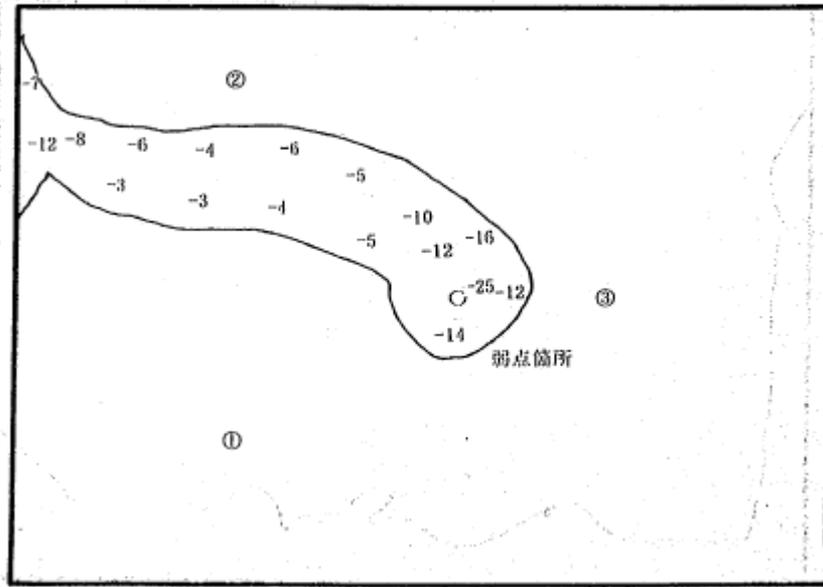
水頭差と流量の関係



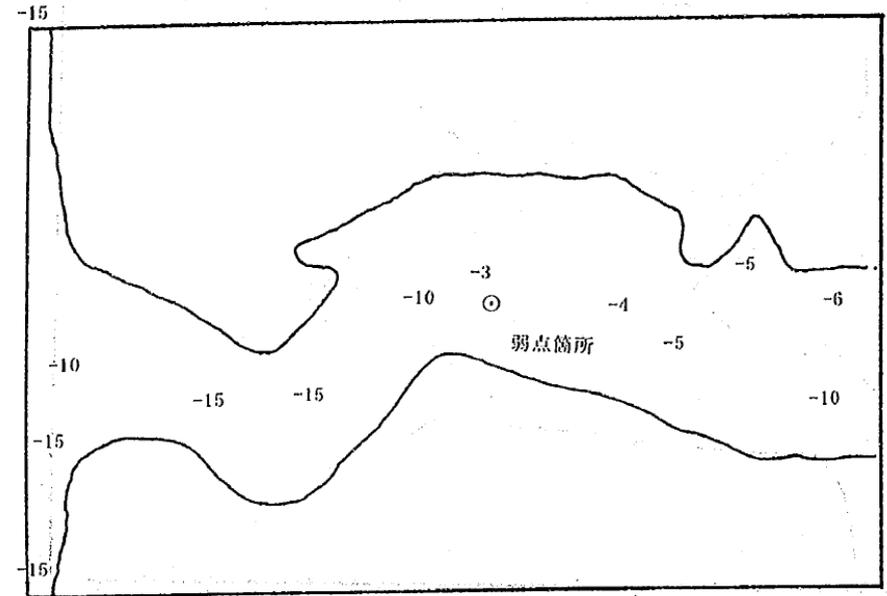
パイピングの進行状況の例

噴砂からパイピングに至るまでの水頭差が小さいケースが多い。実被害では？

パイピングに関する大型模型実験



ケース22

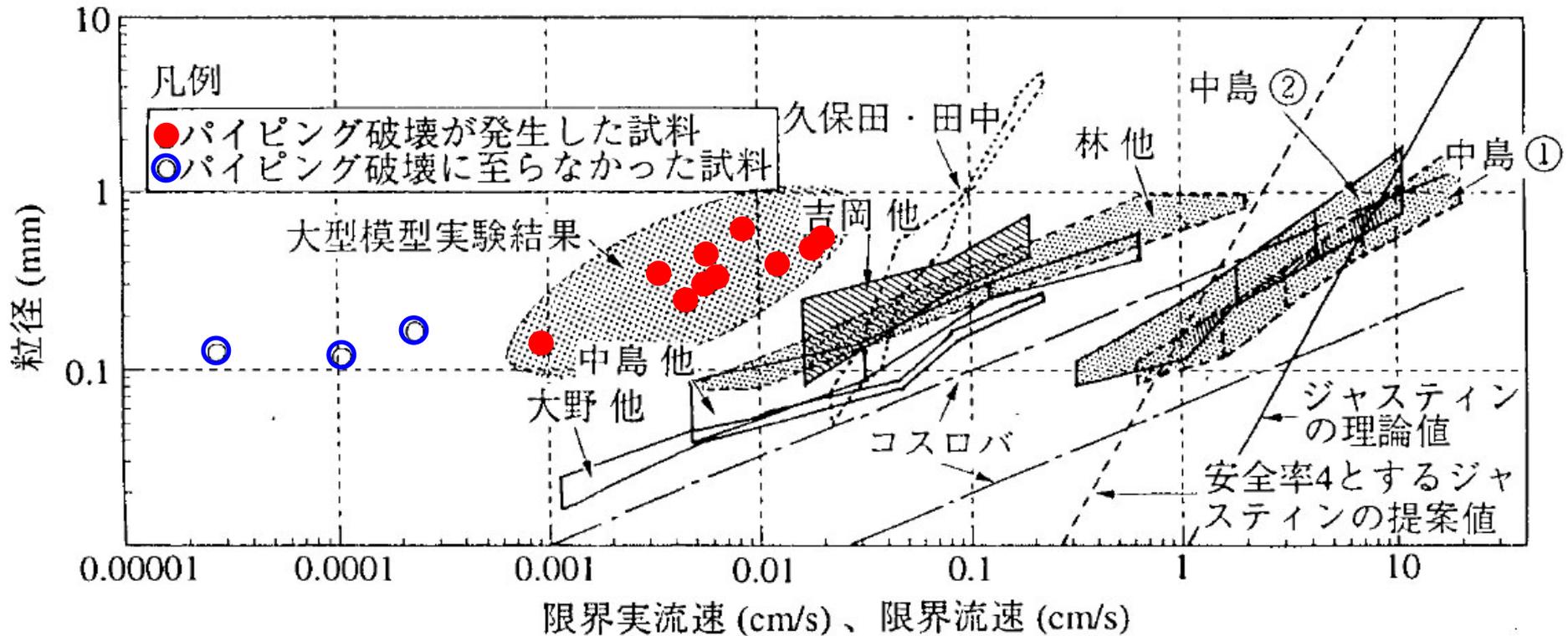


ケース17

実験後の水みちの観察状況の例

比較的均質な実験においても水みちは地盤の弱部(密度? 粒度?
拘束圧?)をねらって発達
実地盤ではもっと複雑?

パイピングに関する大型模型実験

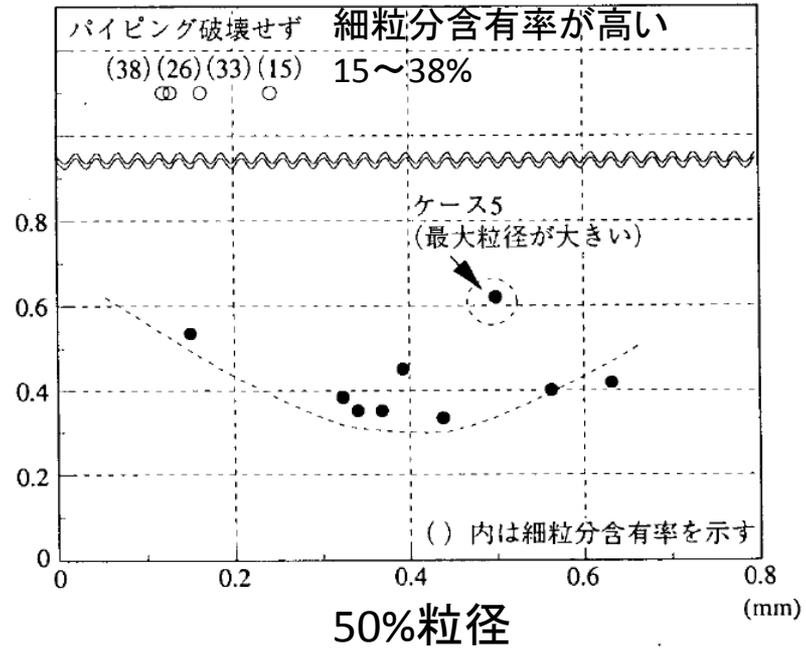


50%粒径と限界実流速の関係

実験の規模が大きくなることにより限界実流速はやや小さい
本実験では地盤の平均的な流れに着目しているため
(実務上局所的な流速の予測は困難)

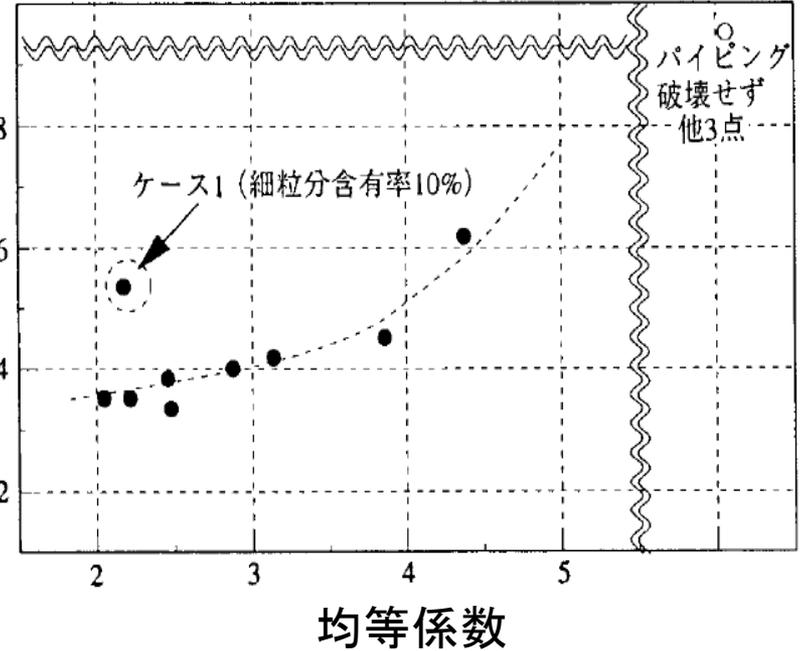
パイピングに関する大型模型実験

パイピング破壊時の平均動水勾配



50%粒径と平均動水勾配の関係

パイピング破壊時の平均動水勾配



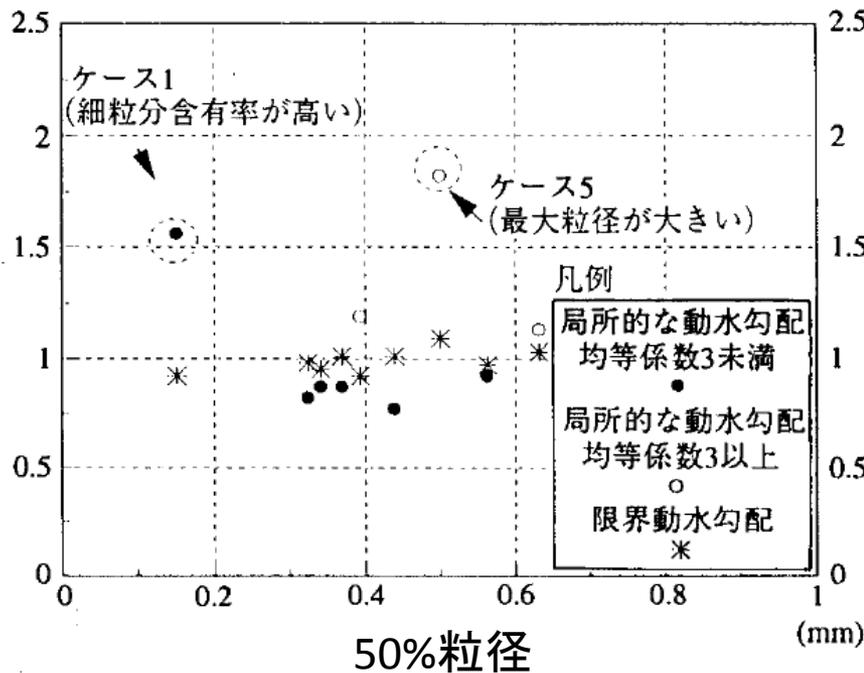
均等係数と平均動水勾配の関係

パイピング発生時の平均動水勾配

本実験のようなゆるい砂地盤では50%粒径0.3~0.4mm付近で、細粒分10%以下、均等係数5以下でパイピング破壊が発生しやすい。

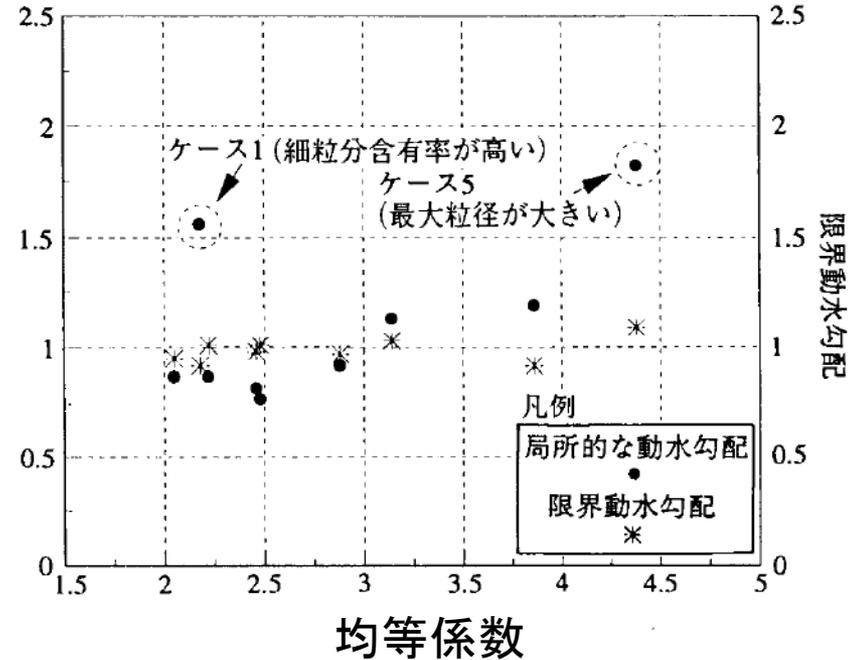
パイピングに関する大型模型実験

噴砂時の局所的な動水勾配



50%粒径と局所動水勾配の関係

噴砂時の局所的な動水勾配



均等係数と局所動水勾配の関係

- ・局所動水勾配は非定常二次元浸透流解析より算出
- ・テルツァギーの限界動水勾配 i_c も併記

パイピング発生時の局所動水勾配

以下の条件で噴砂に至る

均等係数が3以下: 局所的な動水勾配 0.7~0.9程度

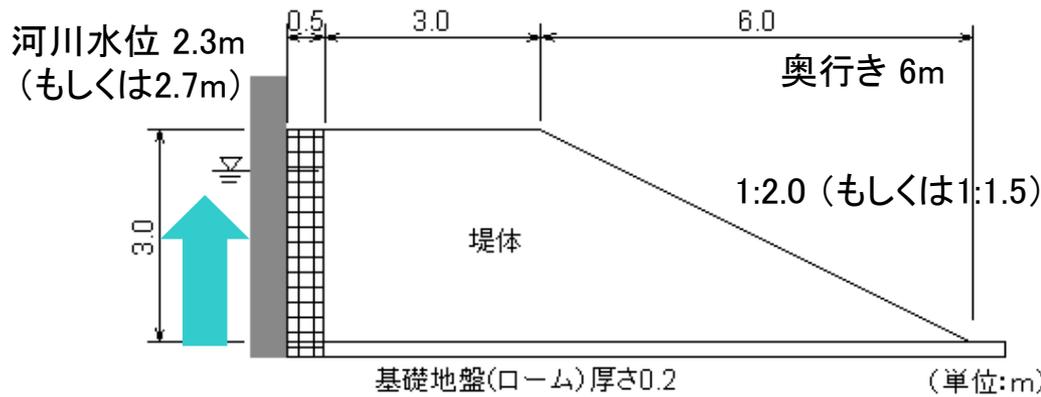
均等係数が3より大きい: 局所的な動水勾配 1.1~2程度

ただし、最大粒径が大きい場合や細粒分を10%程度含む場合を除く

細粒分を多く含む場合や礫を含む地盤、粒径幅の広い地盤等での評価に課題

堤体の浸透破壊に関する大型模型実験

齋藤, 森, 佐々木: 砂質土堤防の浸透による破壊形態と土質定数に関する大型模型実験, 河川技術論文集, 第17巻, 2011年



模型の条件

Dc \ Fc	10%	30%	50%
85%	Case1	Case3	-
90%	Case2	Case4	Case5

円弧すべり

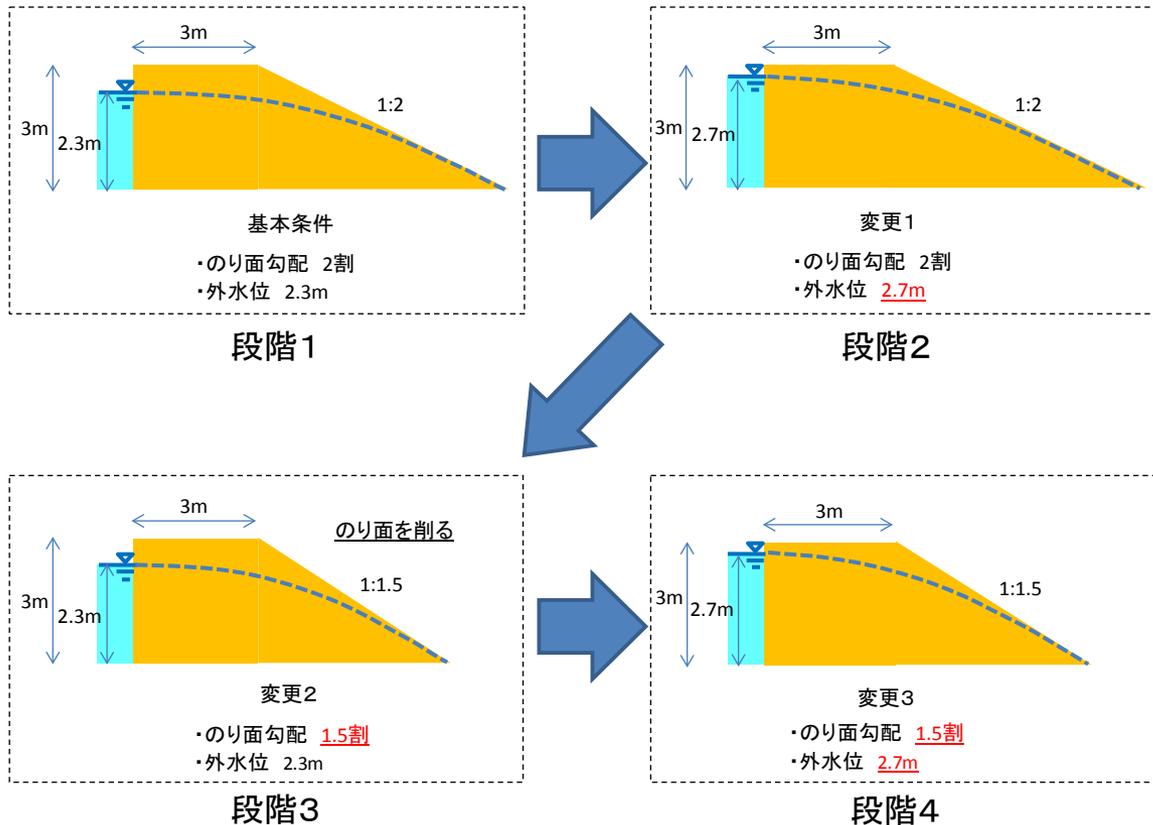


Case4 Fc=30%, Dc=85%, 1:1.5

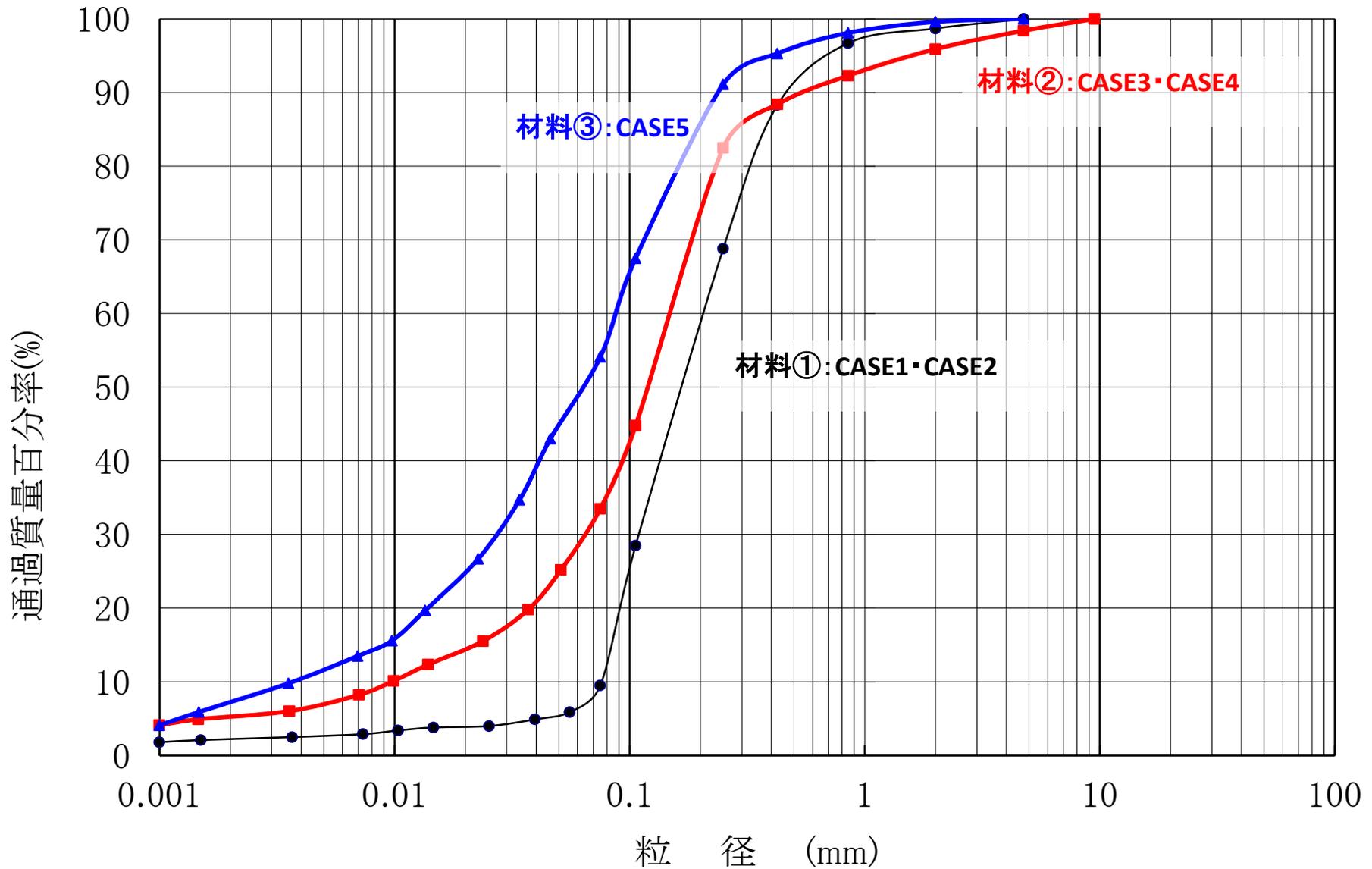
内部侵食



Case2 Fc=10%, Dc=90%, 1:2



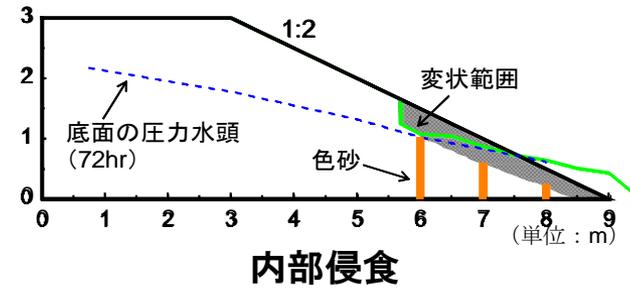
堤防の浸透破壊に関する大型模型実験



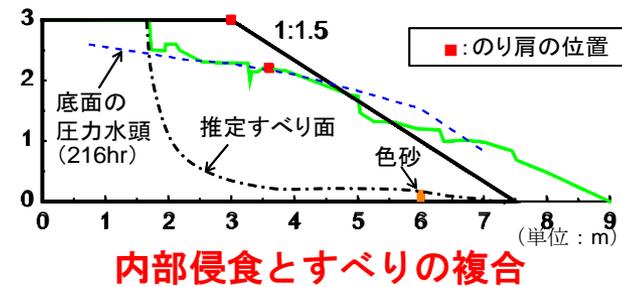
堤防の浸透破壊に関する大型模型実験



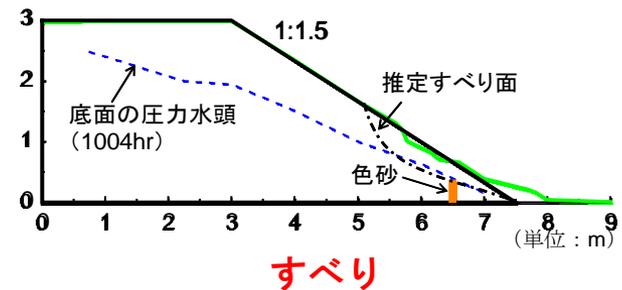
Fc10%, Dc90%, 勾配1:2 (Case2)



Fc30%, Dc85%, 勾配1:1.5 (Case3)



Fc50%, Dc90%, 勾配1:1.5 (Case5)



		Dc	
		85%	90%
Fc	10%	Case1 内部侵食	Case2 内部侵食
	30%	Case3 内部侵食と すべりの複合	Case4 内部侵食
	50%	-	Case5 すべり

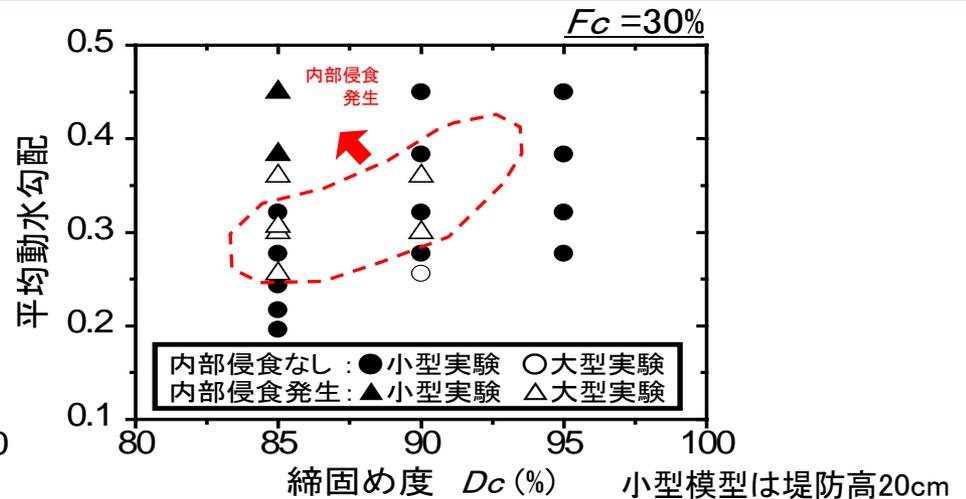
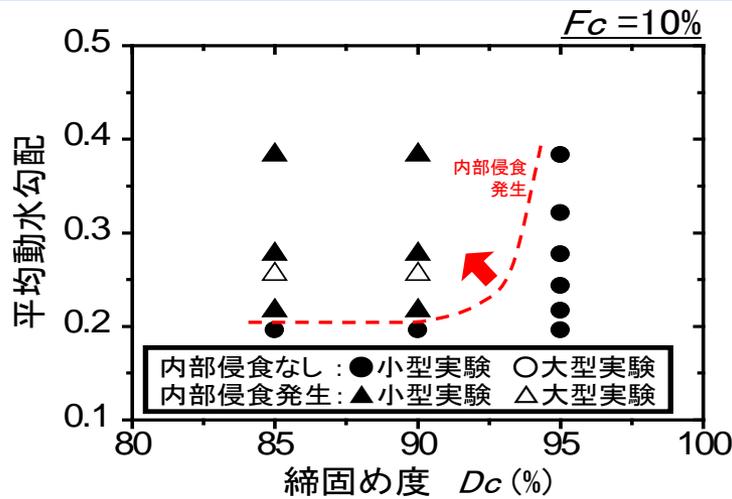
模型堤防の崩壊形態として「内部侵食」「内部侵食とすべりの複合」「すべり」が観察
 細粒分含有率が高い堤体材料、緩い締固め度の堤防ほどすべりが発生しやすい

堤防の浸透破壊に関する大型模型実験

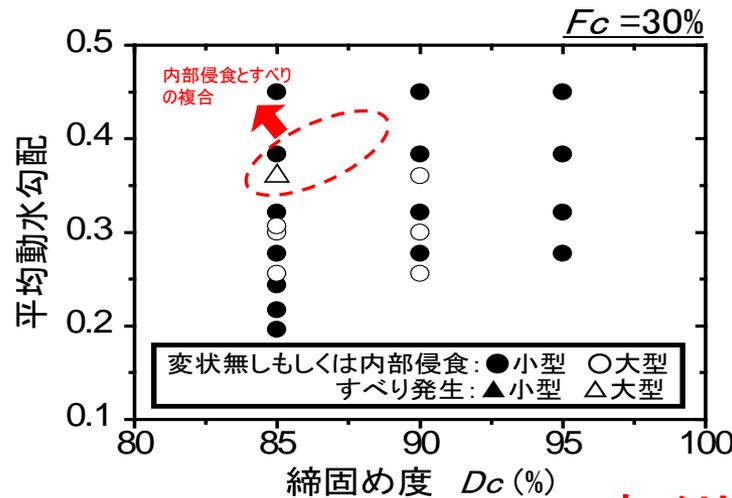


Fc10%, Dc85%, 勾配1:2 (Case1)

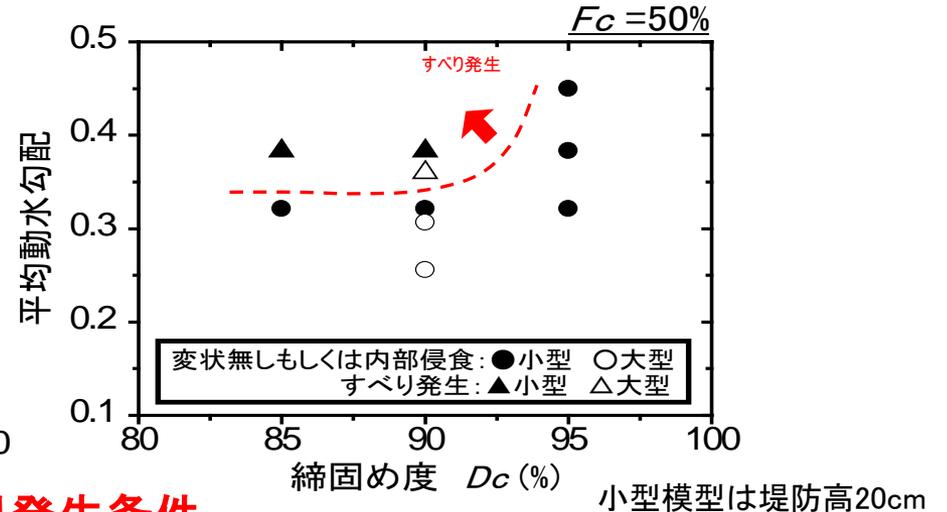
堤防の浸透破壊に関する大型模型実験



内部侵食発生条件

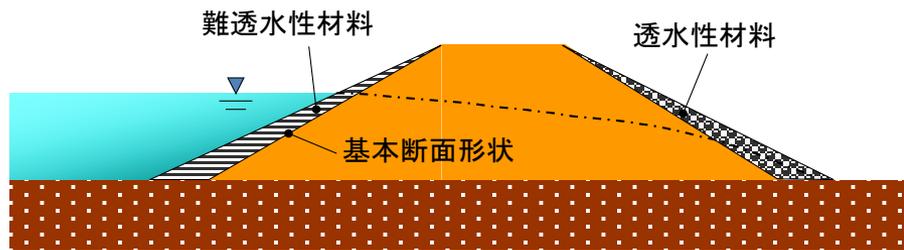


すべり発生条件

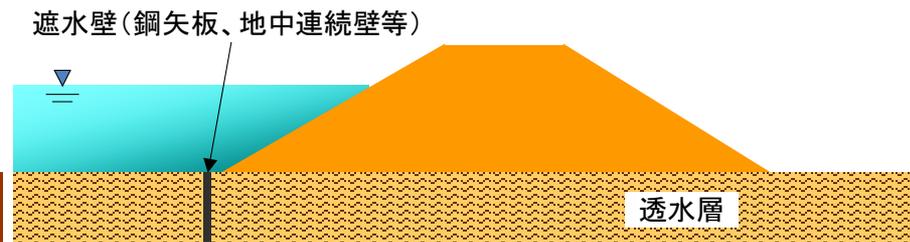


内部侵食は、 F_c が低い堤体材料、緩い締固め度の堤防ほど発生し易い傾向
すべりは、 F_c が高い堤体材料、緩い締固め度の堤防ほど発生し易い傾向

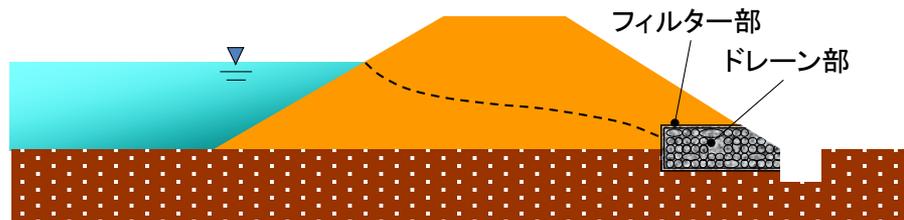
浸透に対する堤防強化工法の検討



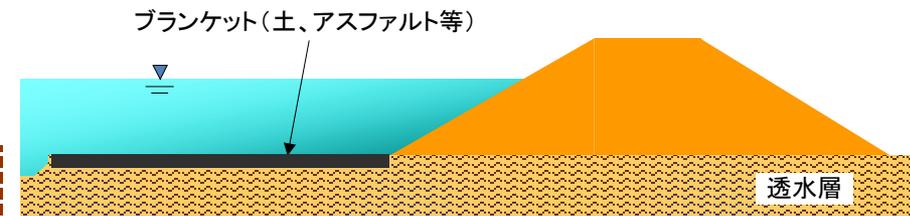
断面拡大工法



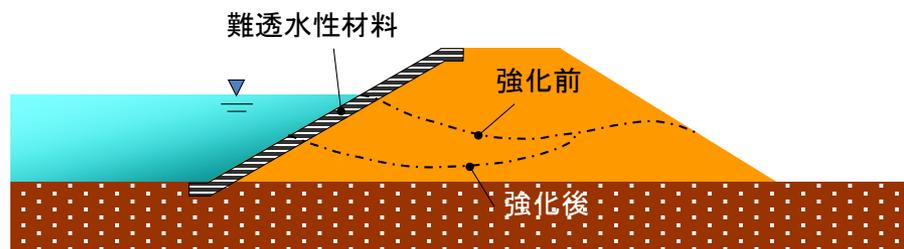
川表遮水工法



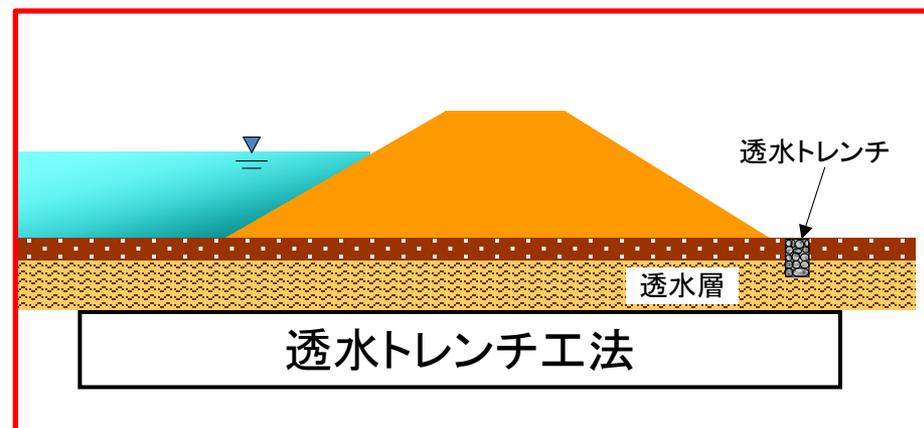
ドレーン工法



ブランケット工法



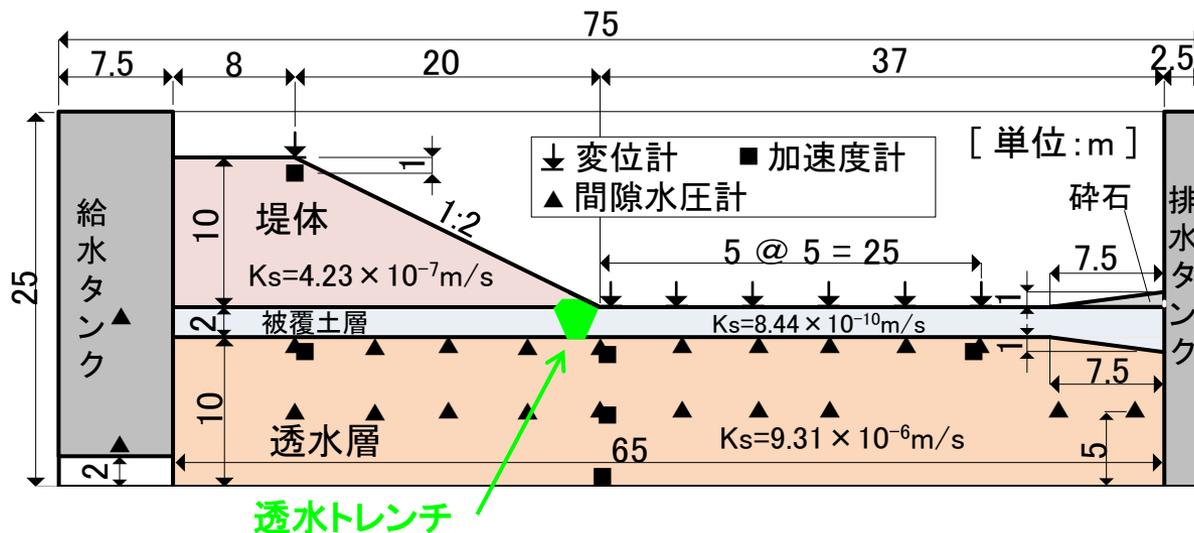
表のり面被覆工法



透水トレンチ工法

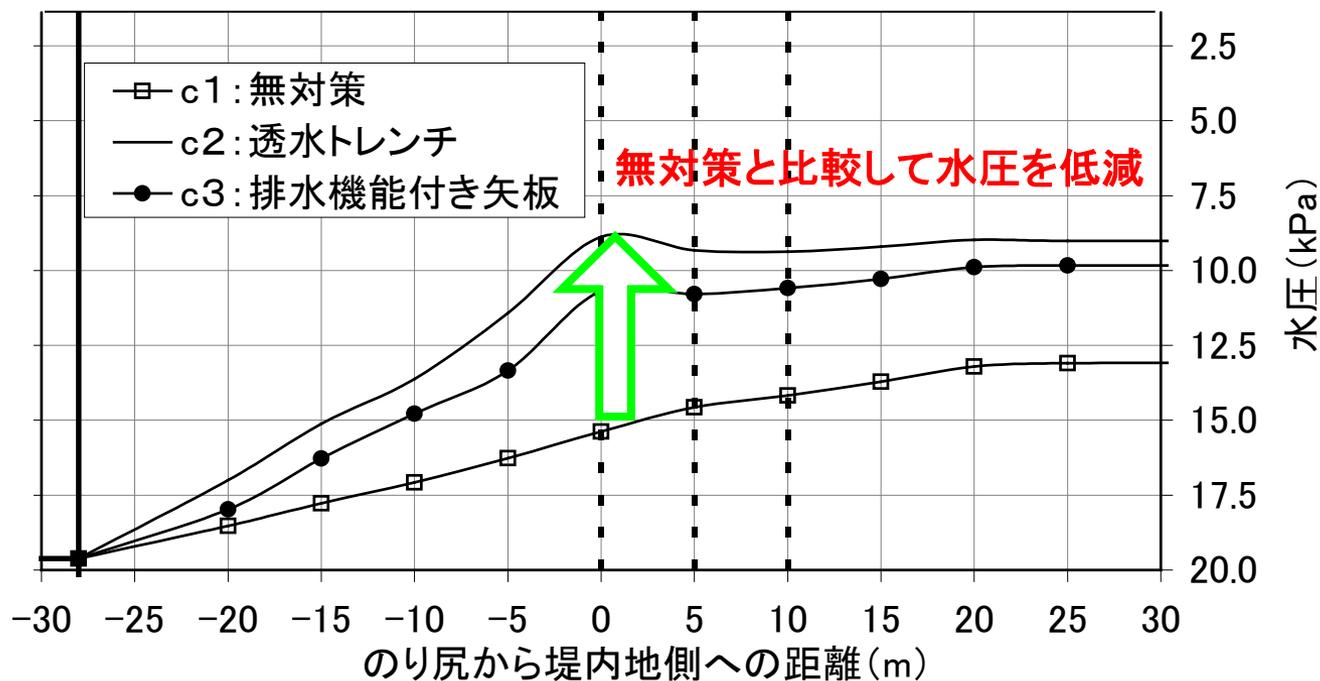
遠心模型実験による透水トレンチの検討

増山、齋藤、石原、佐々木: 河川堤防の川裏側における揚圧力対策工に関する大型遠心模型実験, 河川技術論文集, 2012年



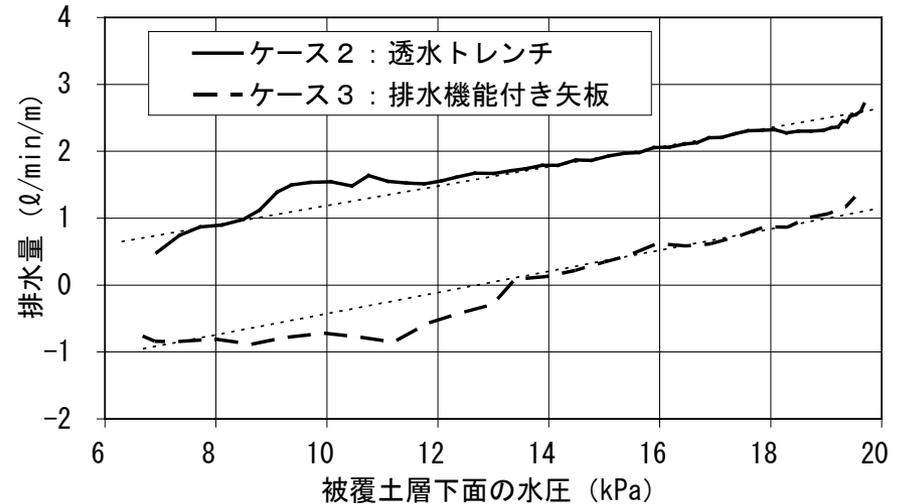
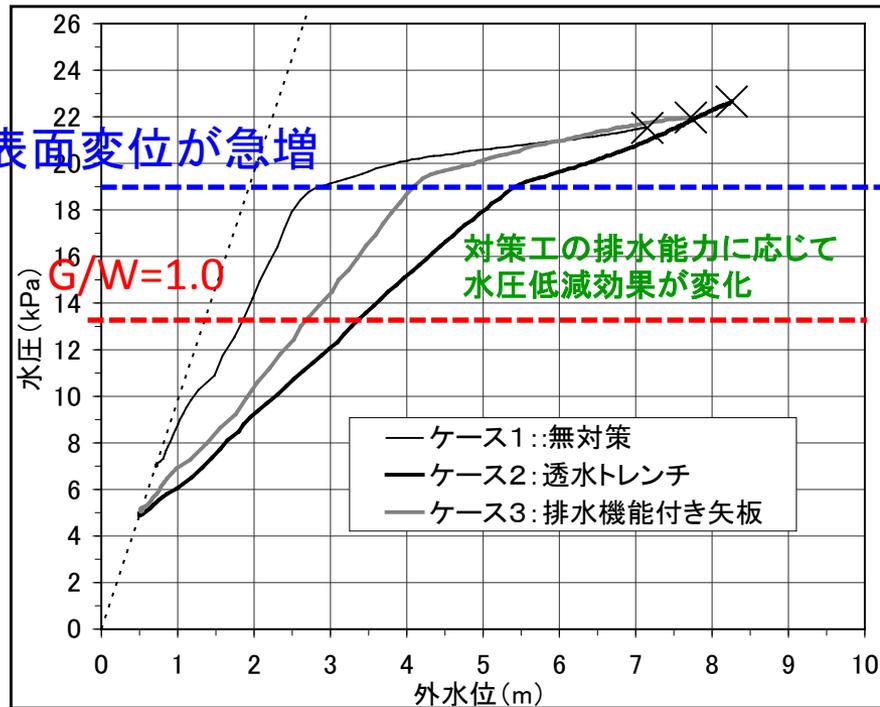
- ・実寸土槽
- ・幅1.5m
- ・高さ0.5m
- ・奥行0.3m

模型断面図



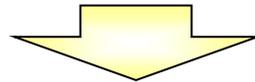
被覆土層下の
水圧分布図
(外水位2m相当)

遠心模型実験による透水トレンチの検討



外水位と被覆土層下の水圧との関係

被覆土層下面に生じる水圧と排水量



透水トレンチによる被覆土層下の水圧低減効果は確認できたが、

- ・トレンチの排水能力を超えた場合の堤防の安全性は？トレンチ部が弱部となり被害を助長しないか？

- ・地盤調査等の不確実性、透水係数の推定精度等を踏まえて安全余裕をどの程度見込むべきか？あるいは適用可能な地盤条件は？