

盛土と擁壁

13:00～16:15

平成25年9月4日 岐阜大学工学部

(株)第一コンサルタンツ
右城 猛

設計の基本方針

1. 使用目的との適合性, 構造物の安全性, **耐久性**, **設計品質の確保**, **維持管理の容易さ**, 環境との調和, 経済性を考慮すること。
2. 想定する作用に対して**要求性能**を設定し, それを満足することを照査すること。
3. 論理的な妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた手法, これまでの経験・実績から妥当と見なせる手法等, 適切な知見に基づいて行うこと。

重要

公共工事のコスト縮減を図るため, 新工法や新製品が提案されているが, 安易に採用してはならない。経済性や施工性だけでなく, 類似条件での施工実績・災害事例等を十分に調査し, 総合的な観点から検討しなければならない。また, 計算のみに依存するのではなく, 従来から用いられてきた擁壁との相違や被災事例等も考慮して工学的判断を行う必要がある。

1

擁壁の要求性能の水準

区分	性能の限界状態	満足すべき性能
性能1	健全性を損なわない	安全性, 修復性, 供用性
性能2	損傷が限定的であり, 擁壁としての機能の回復が速やかに行い得る	安全性, 修復性
性能3	損傷が擁壁として致命的とならない	安全性

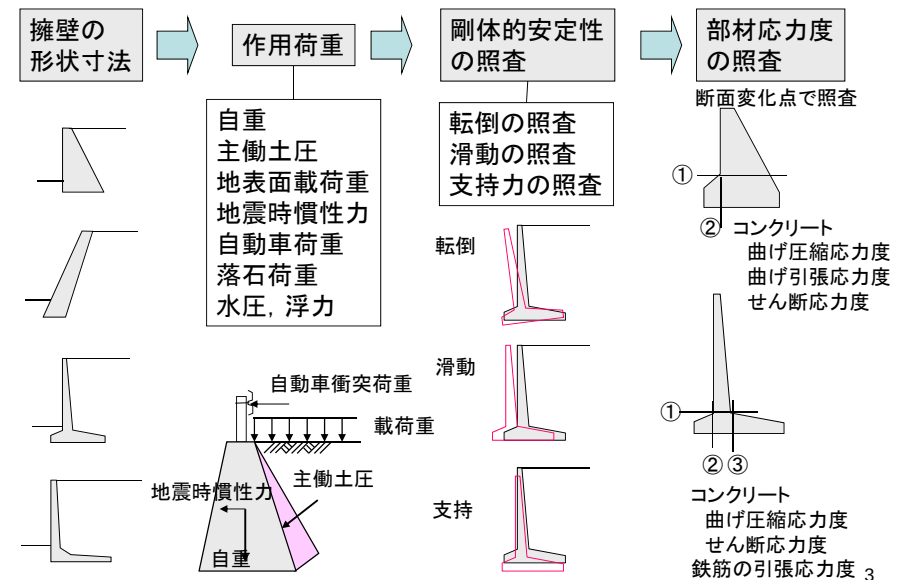
安全性: 想定する作用等による変状によって**人命を損なうことのない**ようにするための性能

修復性: 想定する作用によって生じた**損傷を修復できる**性能

供用性: 想定する作用による変形や損傷に対して, 擁壁により形成される**道路が本来有すべき**通行機能、及び避難路や救助・救急・医療・消火活動・緊急物資の輸送路としての**機能を維持**できる性能

2

設計の手順と照査項目

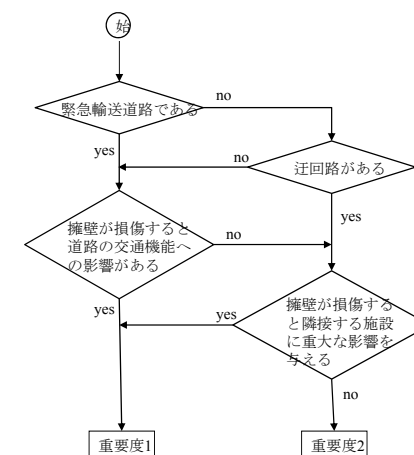
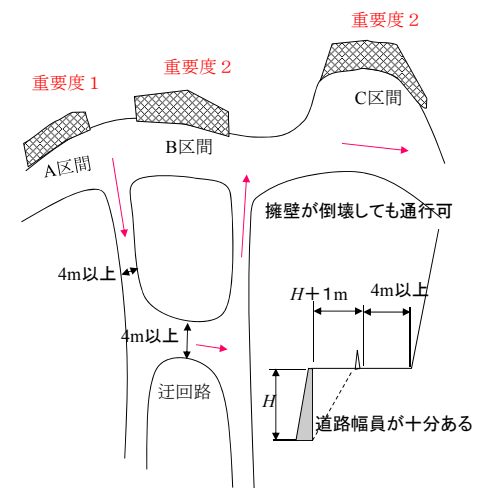


擁壁の重要度の区分

重要度の区分		区分の判断
重要度1	万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合、隣接する施設に重大な影響を与える場合。	擁壁が損傷した場合の道路の交通機能への影響と隣接する施設等に及ぼす影響の重要性を総合的に勘案して定めること。道路の交通機能への影響は、必ずしも道路の規格による区分を指すものではなく、 迂回路の有無 や 緊急輸送路であるか 否か等、万一損傷した場合に 道路ネットワークとしての機能に与える影響の大きさを考慮 して判断すること。
重要度2	上記以外	

4

擁壁の重要度



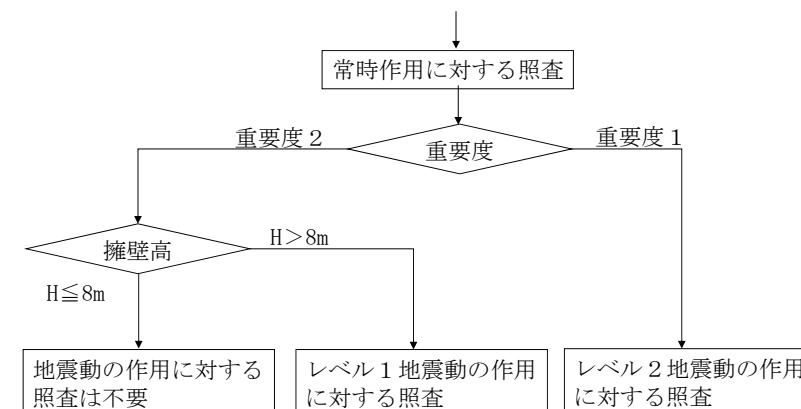
5

擁壁の要求性能の例

荷重の作用		重要度1	重要度2
常時の作用		性能1(安全性, 修復性, 供用性)	
降雨の作用			
地震動の作用	レベル1地震動	性能2 (安全性, 修復性)	
	レベル2地震動	性能2 (安全性, 修復性)	性能3(安全性)

6

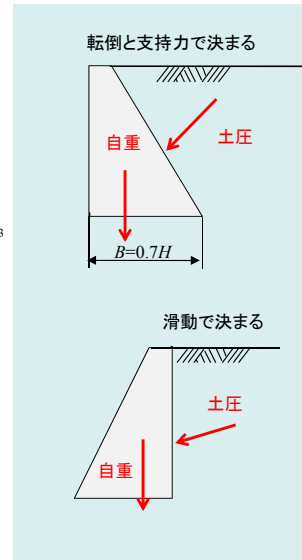
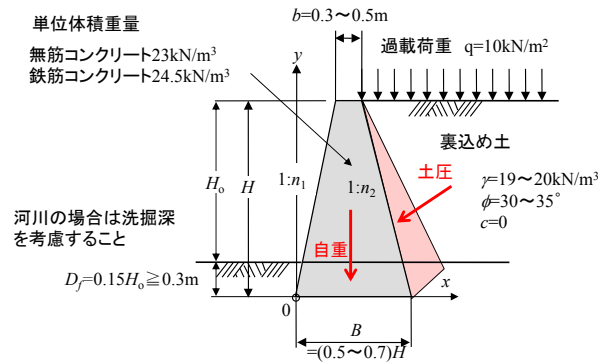
地震動の作用の照査



- ①設計水平震度が $k_h=0.18$ 程度以上になると地震時で決まる。
- ②レベル1地震動で擁壁断面が決まることはほとんどない。

7

重力式擁壁の設計条件

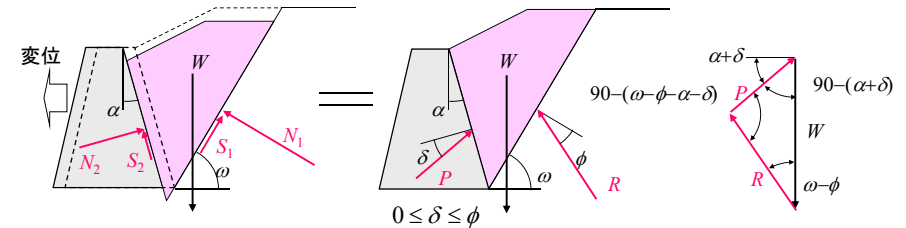


8

クーロンの土圧理論(すべり面を直線と仮定)

未知量は P と R の2個

力の多角形



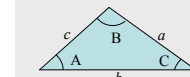
正弦定理より

$$\frac{P}{\sin(\omega - \phi)} = \frac{W}{\sin\{90 - (\omega - \phi - \alpha - \delta)\}}$$

$$P = \frac{\sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \alpha - \delta)} W \quad \delta = \frac{2}{3}\phi \text{ (道路土工指針)} \quad \phi = 30 \sim 35^\circ$$

ω が決まれば W と P が決まる $\Rightarrow$ ω をどのようにして決めるか

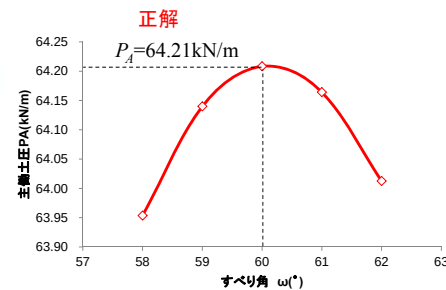
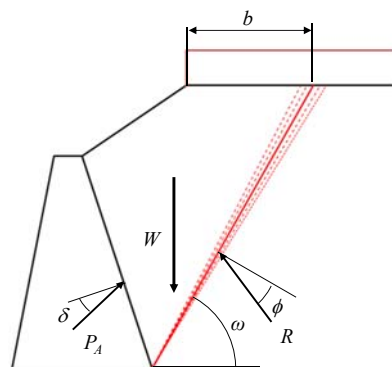
三角関数



$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$
$$\sin(90 - A) = \cos A$$

9

試行くさび法



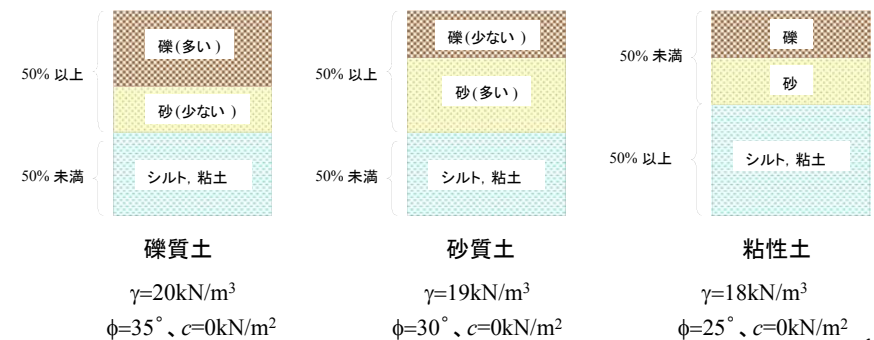
$\omega(^{\circ})$	$b(\text{m})$	$W(\text{kN/m})$	$P_A(\text{kN/m})$
58	2.00	154.97	63.95
59	1.90	150.17	64.14
60	1.81	145.47	64.21
61	1.72	140.86	64.16
62	1.63	136.34	64.01

10

土のせん断強度定数

土の分類

細粒分		粗粒分						石分	
粘土	シルト	砂			礫			石	
		細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石	巨石
粒径	0.005	0.075	0.25	0.85	2.0	4.75	19	75	300 (mm)



11

道路土工指針と道路橋示方書の違い

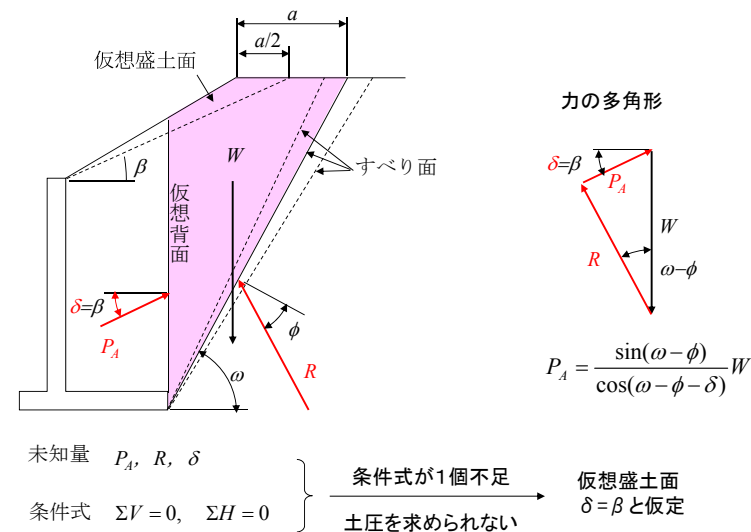
「擁壁工指針は試行くさび法」、「道路橋示方書はクーロン式」というのは間違い。
試行くさび法はクーロンの楔理論の数値解析法。クーロン式は楔理論の解析解。
クーロン公式を誘導したのは、ミュウラ・プレスロー。

技術基準類	道路土工一擁壁工指針		道路橋示方書下部構造編
盛土形状			
土圧計算法	試行くさび法	試行くさび法 クーロン式	クーロン式
壁面摩擦角	$\delta = \frac{2}{3}\phi$		$\delta = \frac{1}{2}\phi$
土圧分布	三角形		台形

12

片持ちり式擁壁の仮想背面に作用する土圧

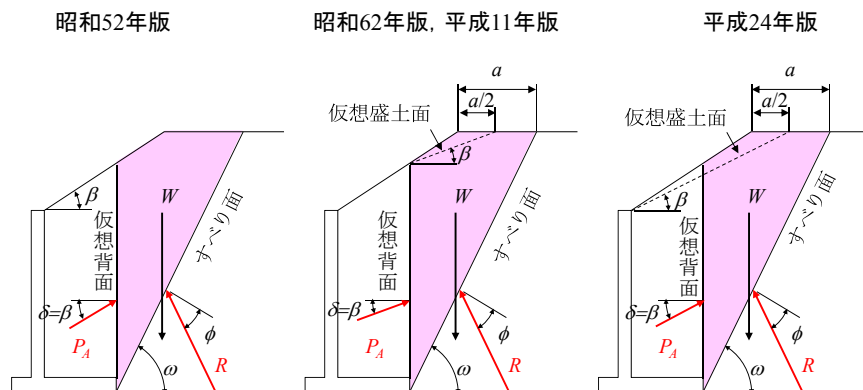
道路土工一擁壁工指針による土圧計算法(試行くさび法)



13

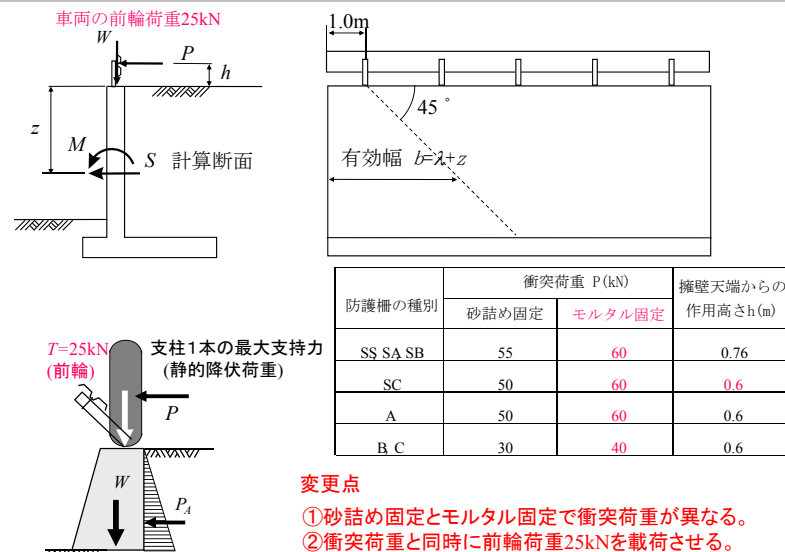
道路土工一擁壁工指針の考え方の変遷

仮想盛土面の傾斜角 β の考え方が変更になった



14

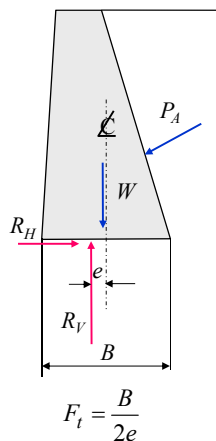
衝突荷重



15

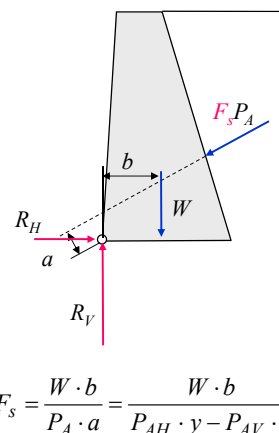
転倒に対する照査法

偏心量による方法



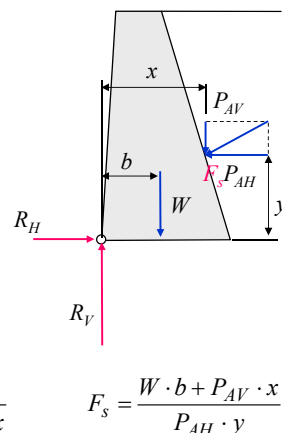
常時 $F_t \geq 3$, 地震時 $F_t \geq 1.5$

安全率量による方法1



常時 $F_s \geq 1.5$, 地震時 $F_s \geq 1.2$

安全率量による方法2



16

照査方法で安全性の評価結果が逆になる

形状			
$F_t = \frac{B}{2e} \left(\frac{B'}{2e'} \right)$	3.01	3.01	6.67(1.13) 最も安全
$F_s = \frac{W \cdot b}{P_{AH} \cdot y - P_{AV} \cdot x}$	-1.90	2.52	1.12
$F_s = \frac{W \cdot b + P_{AV} \cdot x}{P_{AH} \cdot y}$	3.53	1.89	1.13 最も危険

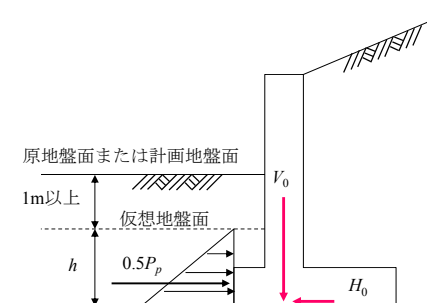
17

擁壁工指針の転倒に対する安定の照査

	常時	地震時
自立式	 $F_t = \left \frac{B}{2e} \right \geq 3.0$	 $F_t = \left \frac{B}{2e} \right \geq 2.0$
もたれ式	 $F_s' = \frac{6d}{B} \geq 3.0$	 $F_s' = \frac{6d}{B} \geq 2.0$

18

滑動の安全率



安全率

$$F_s = \frac{H_u}{H_o} \leq 1.5 (\text{異常時 } 1.2)$$

底面が平坦の場合の滑動抵抗力

$$H_u = V_o \mu + 0.5 P_p$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma h^2 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

19

沈下量から決まる許容鉛直支持力度

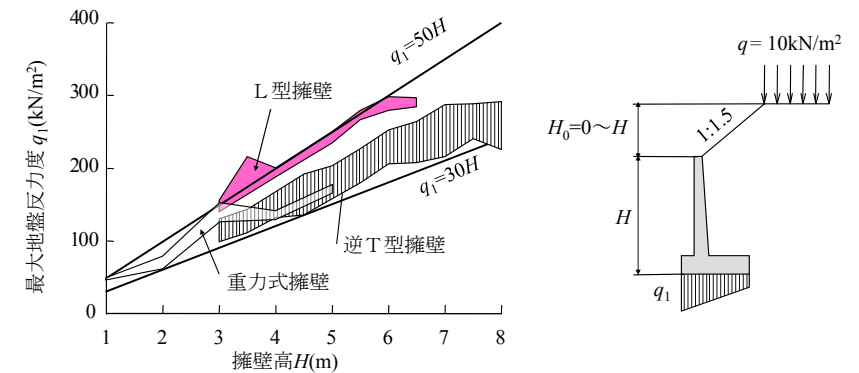
基礎地盤の種類		許容鉛直支持力度 q_d (kN/m ²)	目安とする値	
			一軸圧縮強度 q_u (kN/m ²)	N 値
岩 盤	亀裂の少ない均一な硬岩	1,000	10,000以上	
	亀裂の多い硬岩	600	10,000以上	
	軟岩・土丹	300	1,000以上	
礫 層	密なもの	600		
	密でないもの	300		
砂 質 地 盤	密なもの	300		30～50
	中位なもの	200		20～30
粘性土 地 盤	非常に堅いもの	200	240～400	15～30
	堅いもの	100	100～200	10～15

「道路橋下部構造設計指針・直接基礎の設計篇(昭和43年)」, 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」に掲載
「荷重の傾斜角の正接(水平力/鉛直力)が0.1以下の場合で、かつ構造物の重要度が高くないと考えられる場合」
に適用。平成6年版からは削除

20

支持層と見なせるN値の目安

支持層と見なせるN値 $N=5H$

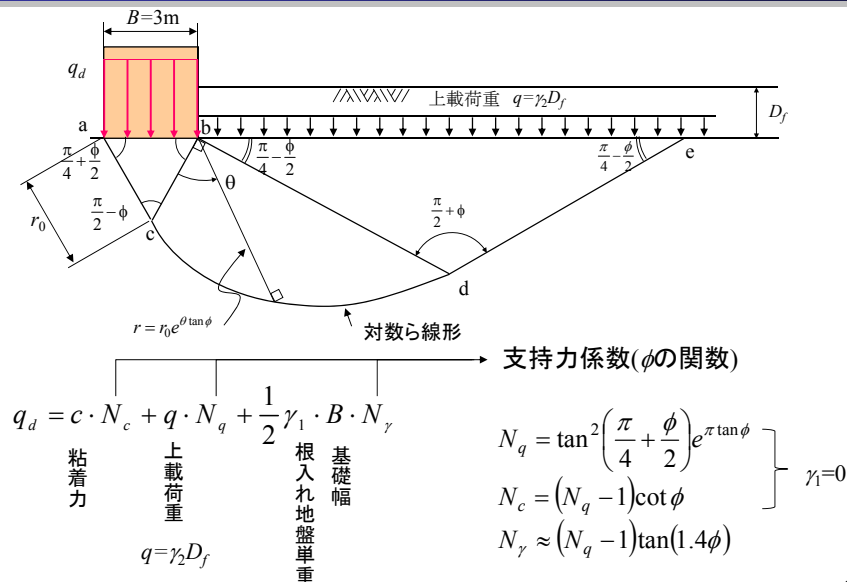


最大地盤反力 $q_1=50H$
許容支持力 $q_d \doteq 10N$ } $q_1=q_d$ とおくと $N=5H$

擁壁高H=3mの場合 支持層のN値は $5 \times 3 = 15$ 以上必要

21

地盤の極限支持力 テルツァギー式 ($\tan\theta=0$)

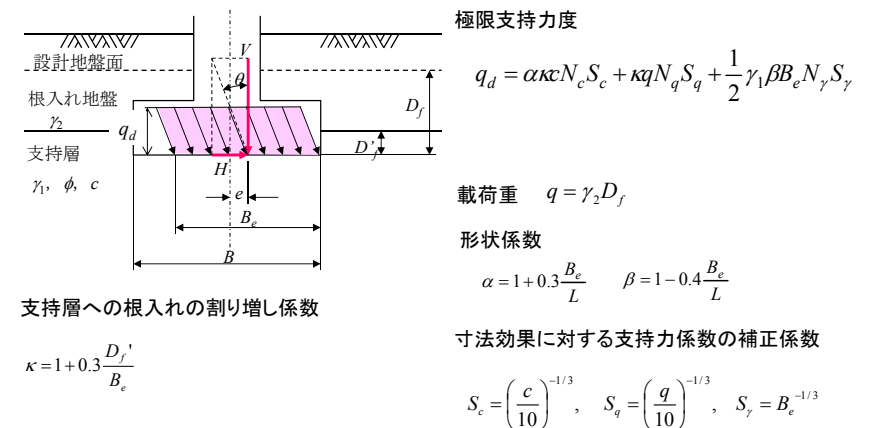


22

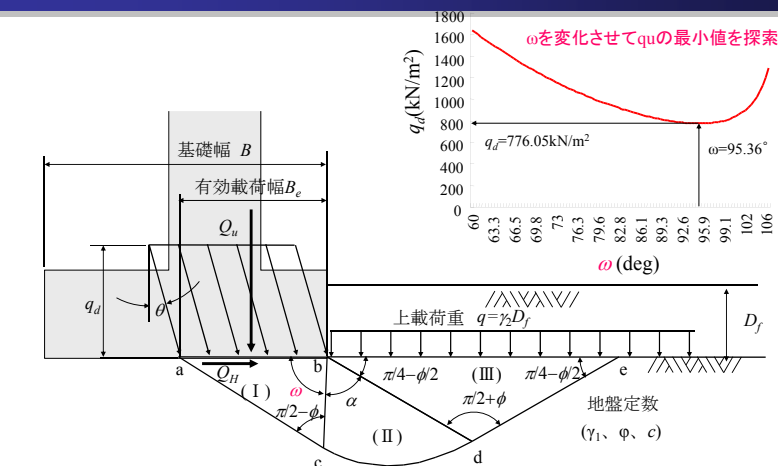
道路橋示方書の静力学公式

テルツァギー式を拡張

荷重の偏心・傾斜, 支持層への根入れ, 基礎の形状・寸法効果を考慮



平坦地盤の極限鉛直支持力度

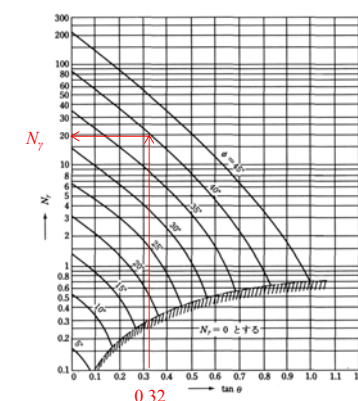
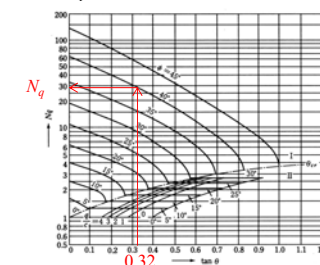
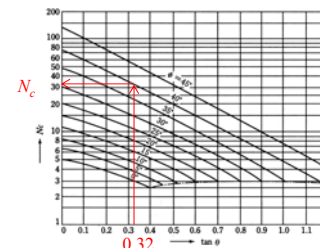


$$q_d = \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 B B_e N_\gamma S_\gamma$$

c, ϕ をどのように決めるかが問題

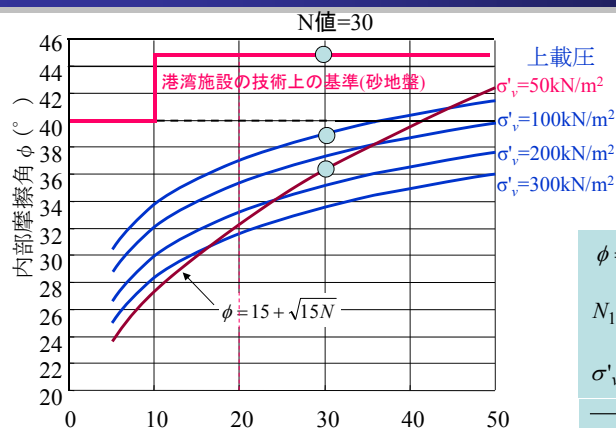
24

道路橋示方書式の支持力係数(平坦地盤)



$$\tan \theta = \frac{H}{V} = \frac{330}{1,045} = 0.32$$

N値とφの関係



$$N_1 = \frac{170N}{50 + 70} = 1.4N$$

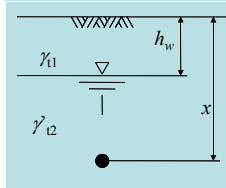
$$\phi = 4.8 \ln(1.4N) + 21$$

$$N=20 \text{ なら } \phi \approx 4.8 \times \ln(1.4 \times 20) + 21 = 37^\circ$$

$$\phi = 4.8 \ln N_1 + 21$$

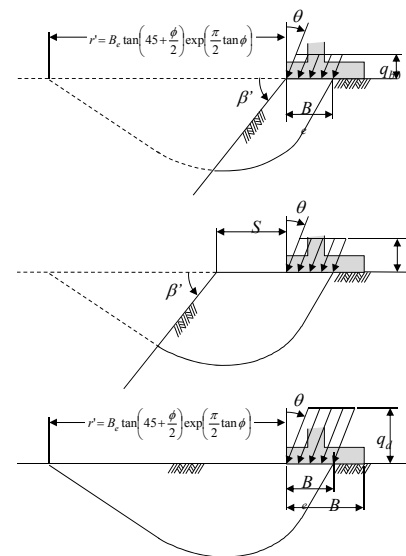
$$N_1 = \frac{170N}{\sigma'_v + 70}$$

$$\sigma'_v = \gamma_{t1} h_w + \gamma'_{t2} (x - h_w)$$



26

NEXCO設計要領の静力学公式(斜面地盤)



$S=0$ の斜面の極限支持力度

$$q_{b0} = \alpha \cdot c \cdot N'_c S_c + \frac{1}{2} \beta \cdot \gamma \cdot B_e \cdot N'_\gamma S_\gamma$$

S の余裕幅がある斜面の極限支持力度

$$q_f = \frac{q_d - q_{b0}}{R \cdot B_e} S + q_{b0}$$

平坦地盤の極限支持力度(道路橋示方書式)

$$q_d = \alpha \cdot c \cdot N_c S_c + \frac{1}{2} \beta \cdot \gamma \cdot B_e \cdot N_\gamma S_\gamma$$

支持力の算定方法

	平 坦			斜 面	
	軟弱地盤	普通地盤	岩 盤	普通地盤	岩 盤
通常規模 ($H \leq 8\text{m}$)	方法②	方法①	方法①	方法③	方法①
大規模 ($H > 8\text{m}$)	方法②	方法②	方法①	方法③	方法①

方法① 地盤種別やN値で経験的に推定

方法② 道路橋示方書の静力学公式

方法③ NEXCO設計要領の静力学公式

28

ブロック積擁壁の安定の照査

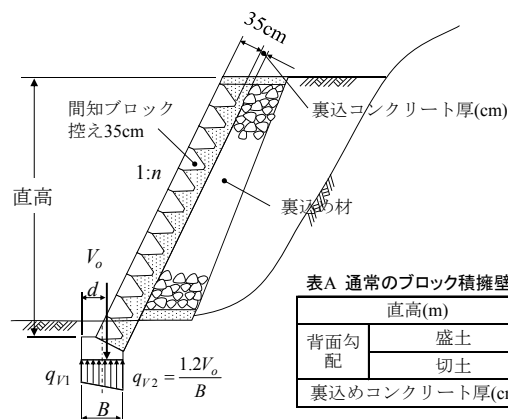
	ブロック間の結合や製品寸法による分類	構造特性	設計方法
通常のプロ ック積 擁壁	通常のプロック積(石積)擁壁	原則として胴込めコンクリートを設ける練積みで、水平方向の目地が直線とならない谷積み等で積み上げる形式	表Aを用いた「経験に基づく設計法」による
	積みブロックの控長を35cmのまま大型化したブロック積擁壁		
大 型 ブ ロック 積 擁壁	通常のプロック積(石積)擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁	控長の大きい大型積みブロックで、ブロック間の結合にかみ合わせ構造や突起等を用いたり、胴込めコンクリートで練積みにした形式	表Bを用いる。 直高が5m以上は支持に対する安定の照査を行う。
	もたれ式擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁	控長の大きい大型積みブロックで、鉄筋コンクリートや中詰めコンクリート等を用いてブロック間の結合を強固にした形式	表Cを用いて、もたれ式擁壁に準じて擁壁の安定性及び部材の安全性を照査する。

表C もたれ式擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁の最小控長

背面勾配	1:0.3	1:0.4	1:0.5
直 高 $H(\text{m})$	～5.0	～7.0	～8.0
最小控長 $b(\text{m})$	0.15H以上	0.12H以上	0.1H以上

29

ブロック積擁壁擁壁鉛直地盤反力度



表B 通常のプロック積擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁の直高

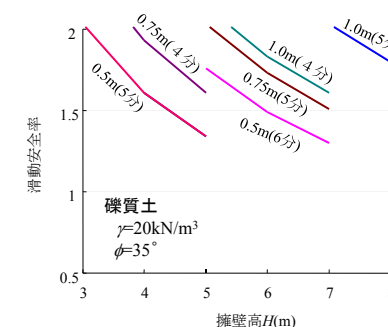
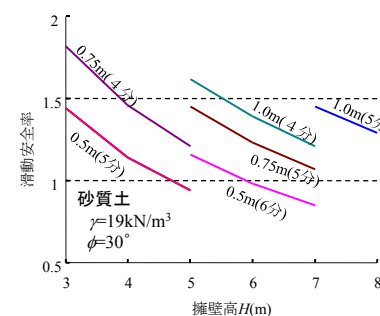
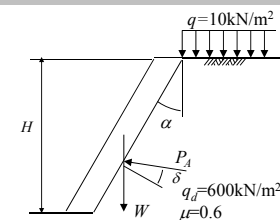
背面勾配		1:0.3	1:0.4	1:0.5
控長	50cm以上	—	～3.0	～5.0
	75cm以上	～4.0	～5.0	～7.0
	100cm以上	～5.0	～7.0	～8.0

30

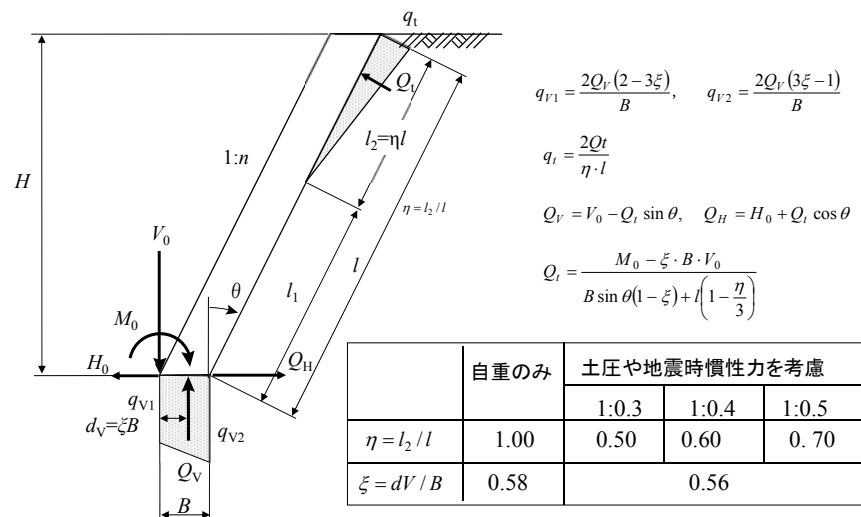
ブロック積み擁壁の滑動に対する安全率

盛土を砂質土にすると滑動の安全率が1を下回る
盛土を礫質土にすると滑動の安全率が1.5を下回る

$$\text{滑動安全率} \quad F_s = \frac{W + P_A \sin(\delta - \alpha)}{P_A \cos(\delta - \alpha)} \mu$$

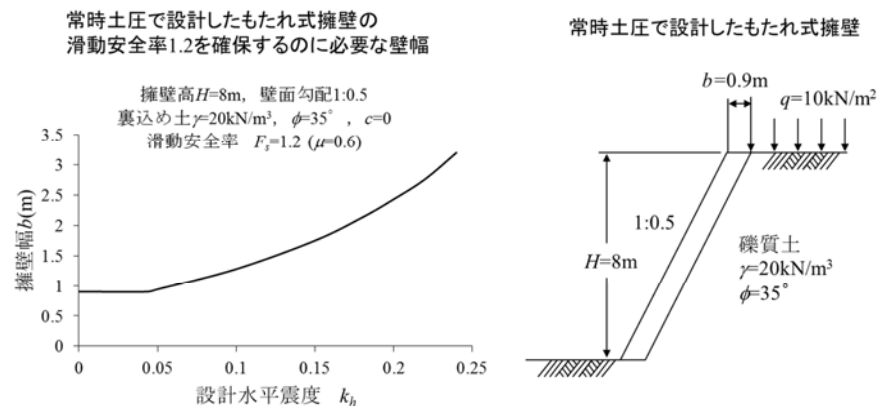


簡便法による鉛直地盤反力度の算定



32

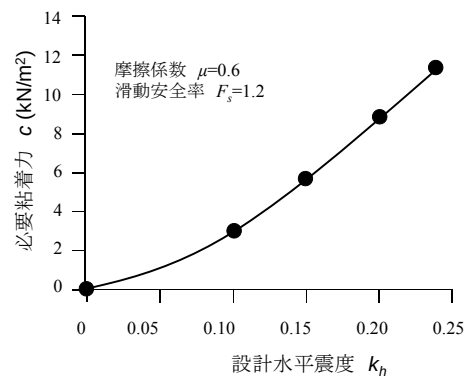
設計水平震度と壁幅



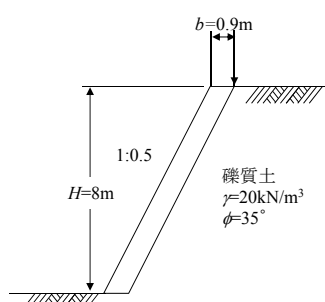
33

設計水平震度と粘着力

常時土圧で設計したもたれ式擁壁の滑動安全率1.2を確保するのに必要な粘着力

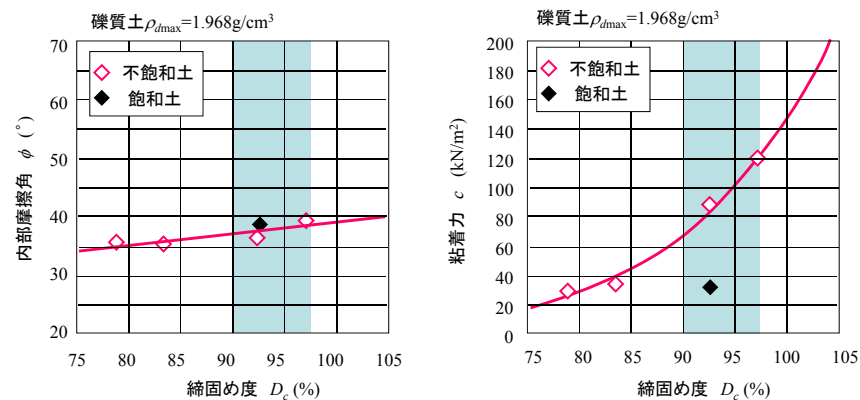


常時土圧で設計したもたれ式擁壁



34

盛土の締固め度と強度定数 c 、 ϕ

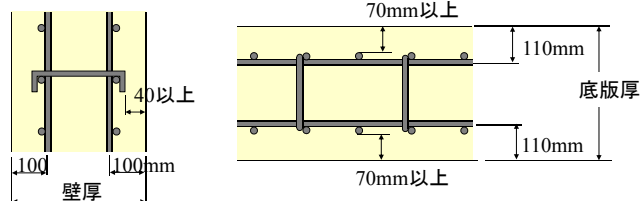


データは「川崎廣貴, 長澤正明: 高盛土の沈下挙動と地盤の性能評価技術, 基礎工, 2009.7」による

鉄筋のかぶり

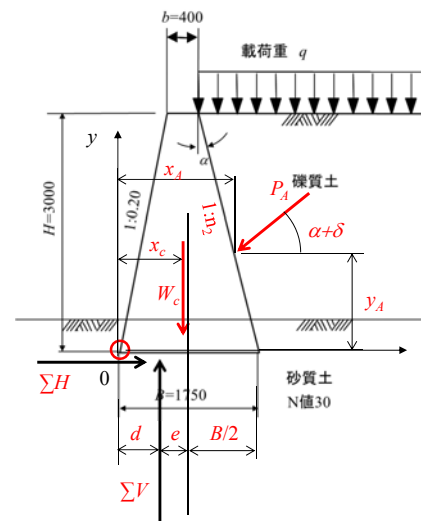
	現場打ち コンクリート	プレキャストコンクリート $C_{min} = \alpha \cdot K \cdot c_0$			
		現場製造		工場製品	
		$30 \leq \sigma_{ck} < 35 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$	$30 \leq \sigma_{ck} < 35 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$
たて壁	40	40	32	32	25
底板	70	70	56	56	45

土木構造物設計マニュアル案(H11年)



ボックスカルバートは25mm

演習問題1 重力式擁壁の安定性の照査



1. 荷重の算定

自重
単位体積重量 23kN/m3
主働土圧
試行くさび法

2. 荷重の集計

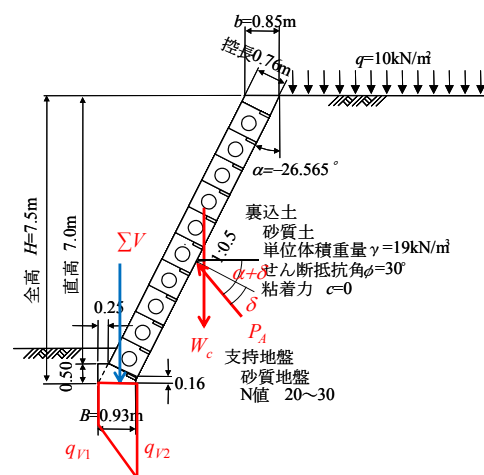
鉛直荷重 $\sum V$
水平荷重 $\sum H$
作用位置 d
偏心率 e

3. 安定性の照査

転倒
滑動
支持力
偏心率 e

37

演習問題2 ブロック積擁壁の支持力照査



基礎に作用する鉛直力 $\sum V$

$$\sum V = W_c + P_A \sin(\alpha + \delta)$$

$$\alpha = -26.565^\circ$$

$$\delta = \frac{2}{3} \phi = \frac{2}{3} \times 35 = 23.33^\circ$$

$$\alpha - \delta = -26.565 + 23.33 = -3.23^\circ$$

$$P_A \sin(\alpha + \delta) < 0 \quad \text{となる}$$

土圧を無視する(安全側)

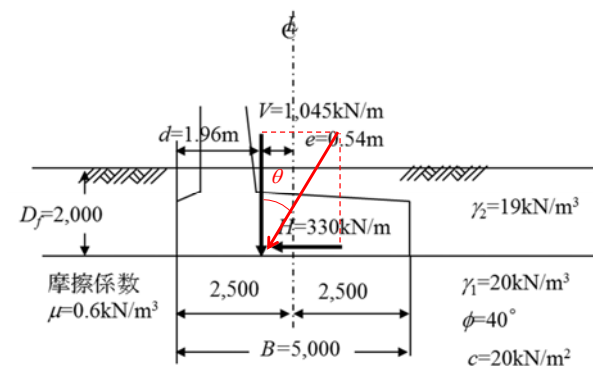
$$\sum V = W_c$$

かかとの地盤反力度

$$q_{v2} = \frac{1.2 \sum V}{B} = \frac{1.2 W_c}{B}$$

38

演習問題3 直接基礎の支持力

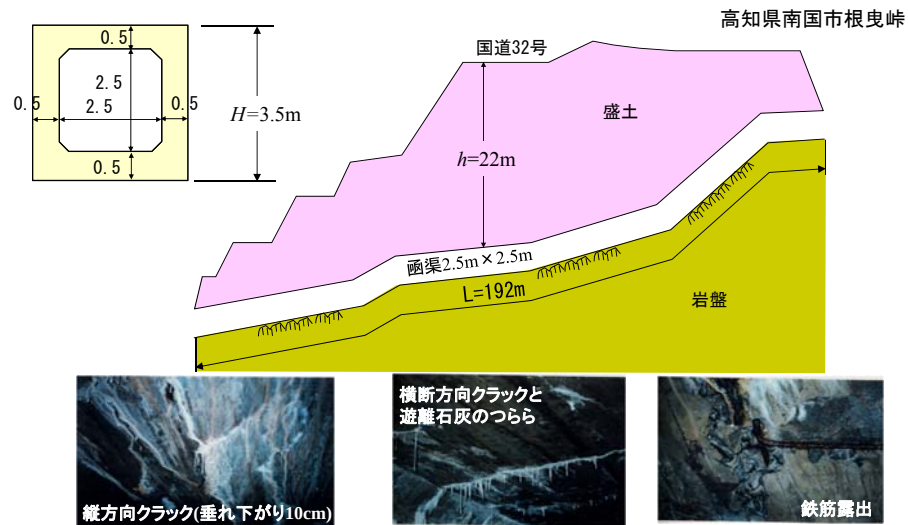


$$q_d = \alpha K c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma$$

39

4.1 高盛土部の函渠が破壊

技術基準の勉強不足

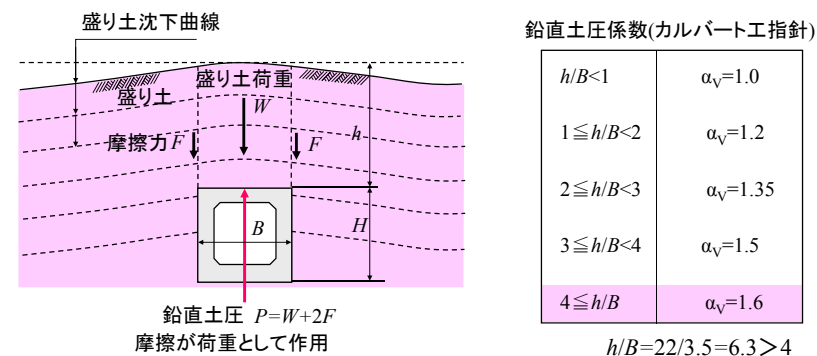


40

ボックスに作用する土圧は土被り圧より大きい

技術基準の勉強不足

周辺の盛土の沈下によって、函渠上の盛土が引きずり込まれる



鉛直土圧係数 α_v と頂版中央の応力度(N/mm²)

	$\alpha_v = 1.0$	$\alpha_v = 1.6$	許容値
コンクリート 曲げ圧縮	6	11	7
鉄筋 引張	132	264	140

41

5.1 20年前のブロック積が倒壊

経験不足



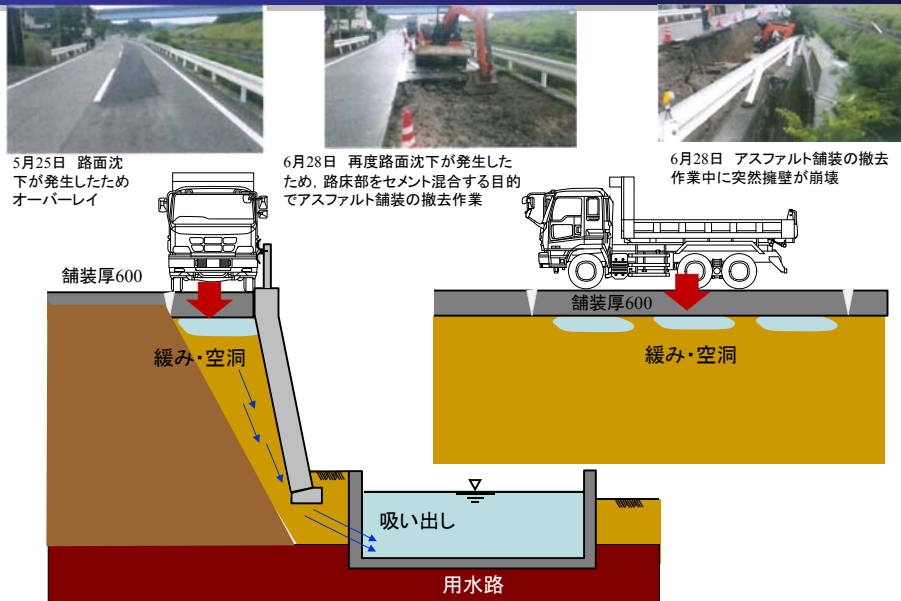
42

5.1 破壊状況

経験不足



アスファルト撤去中に30mにわたり突然崩壊



5.2路面が陥没し、幅2.5m、深さ13mの空洞

経験不足

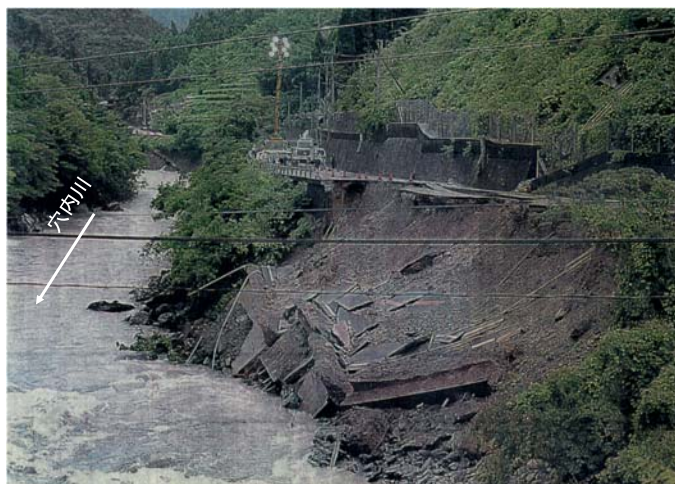
2010年6月、須崎市安和の県道久礼須崎線



45

路側部が崩壊したのはなぜ？

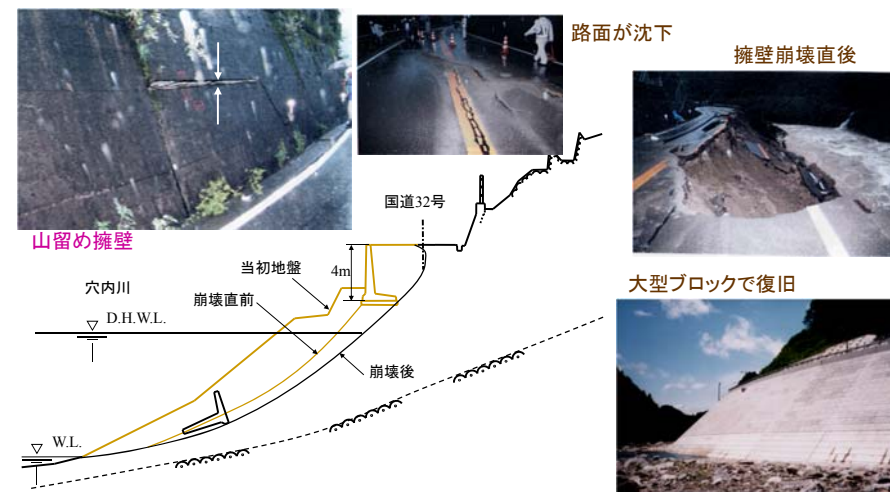
1999年7月29日の豪雨で、大豊町敷岩の国道32号が崩壊



高知新聞朝刊1999.7.30

46

穴内川の増水で川岸が浸食



47

旧国鉄の法面防災十訓

- 一、盛土・切土 法肩歩け
- 二、法肩亀裂は 滑りの前兆
- 三、法のはらみは 水のせい
- 四、水みち塞ぐな それ通せ
- 五、水を止めるな 列車を止めろ
- 六、無いより悪い 破れた水路
- 七、小石パラパラ それ来るぞ
- 八、湧き水濁る 崩壊近い
- 九、雨が止んでも 安心するな
- 十、上を見ながら 崩土の始末

48

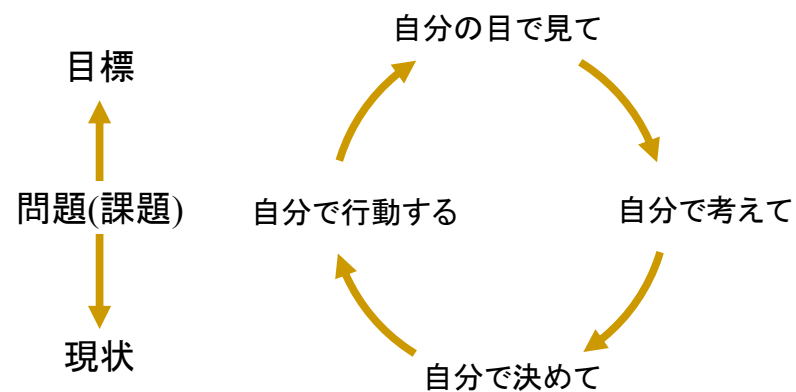
トラブル回避術

1. 地質の推定誤差(ミス)に伴う設計変更がトラブルの要因。
 - ✓ 事前調査を多くして、設計変更を極力回避する。
 - ✓ 些細な変更でも分からなければ専門化に相談する。
2. 設計条件が現場と一致しているか確認せよ。
 - ✓ 地形、土質、N値が一致しているか。
 - ✓ 構造物の形状、根入れ、施工法・手順が一致しているか。
3. 根拠がハッキリしているか。
4. 類似構造物と寸法や数量を比較し、妥当か確認せよ。
 - ✓ 擁壁高と底版幅の比
 - ✓ コンクリート1m3当たりの鉄筋重量
5. 過去のトラブル事例を調べ、対策を練る。
 - ✓ 会計検査院のホームページで指摘事例を調べる。
 - ✓ 日経コンストラクションなどの専門誌を購読する。

49

大事なことは思考すること

マニュアルは技術者の思考を停止させる
適用できる範囲が不明、他に応用が効かない
問題が起きない→技術の進歩がない



畑村洋太郎

50

土木技術者としての心得

1. マニュアルは作るもの。分かって使わないと過ちのもと。
2. 言葉に誤魔化されるな。定義を明確にして、本質を見抜け。
3. 使う数式は自分で誘導せよ。前提条件を理解して使え。
4. 一見は百聞にしかず。自分の目で確かめよ。答えは見方によって異なる。
5. 現象をイメージせよ。できなければ実験して確かめよ。
6. 仮説は正しいか、現象を上手く説明できているか、現地で確認すること。
7. 聞いたことは、忘れる。見たことは、覚える。やったことは、分かる。見つけたことは、できる。
8. インターネットで重要な情報は得られない。会って話すことが大事。当たって砕けろ。

51