

道路土工における地震への対応

(財)先端建設技術センター 常任参与
((社)日本道路協会 道路土工委員会 盛土工分科会長)
松尾 修

話の内容

1. 最近の地震における
道路土工構造物の被害の特徴
2. 指針における地震への対応
3. 運用にあたっての留意事項

1. 最近の地震における 道路土工構造物の被害の特徴

(2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震、
2007年新潟県中越沖地震を対象として)

- ・盛土
- 擁壁
- カルバート
- 構造物(橋梁・カルバート)取付部

北陸地方で連続して発生した地震



(1) 盛土の被害の特徴・傾向

2004年新潟県中越地震

(a) 国道17号川口町天納



(c) 国道117号小千谷市細島



(b) 国道290号 栃尾市栗山沢

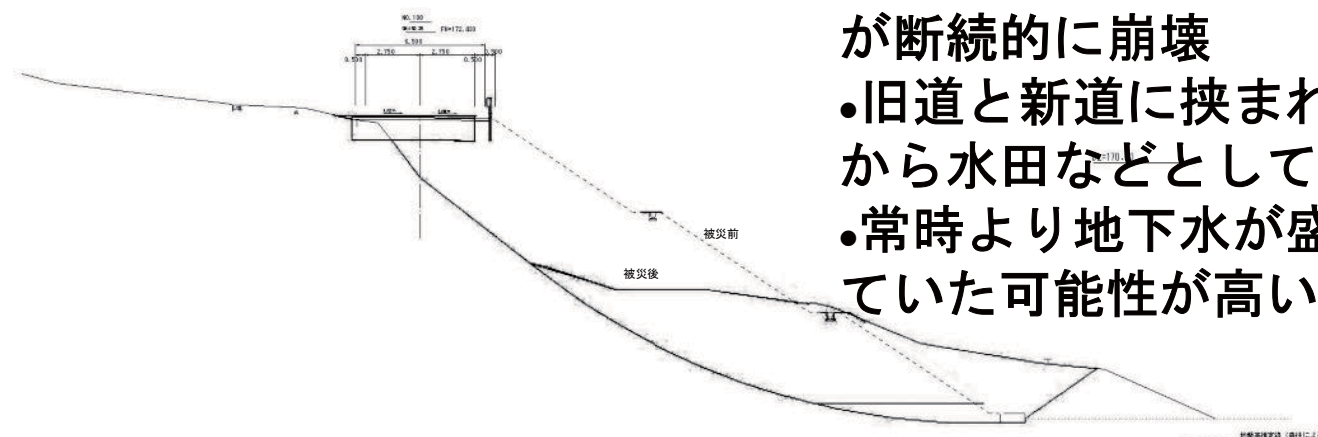
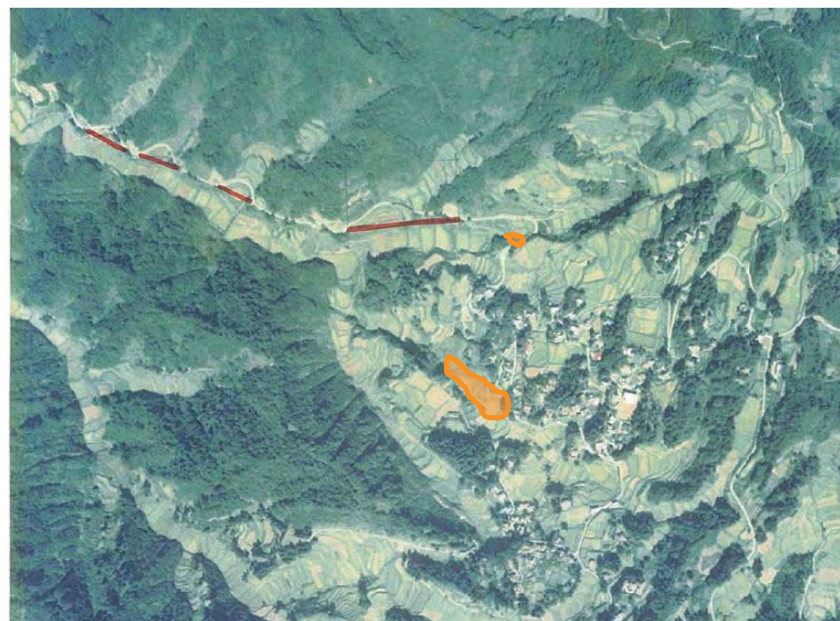


(出典: 写真(a),(c): 土木研究所、(b): アジア航測(株))

- (a) 信濃川河岸段丘の肩部で谷地形の部分を盛土した箇所。
(b) 道路線形改良のため沢部に盛土した箇所。地山上に作られた旧道は無被害。
(c) 腹付け盛土。地山はやや沢地形。下の写真は崩土先端部であり、含水比はきわめて高かった。

2004年新潟県中越地震

一般県道大沢小国小千谷線小国町法末



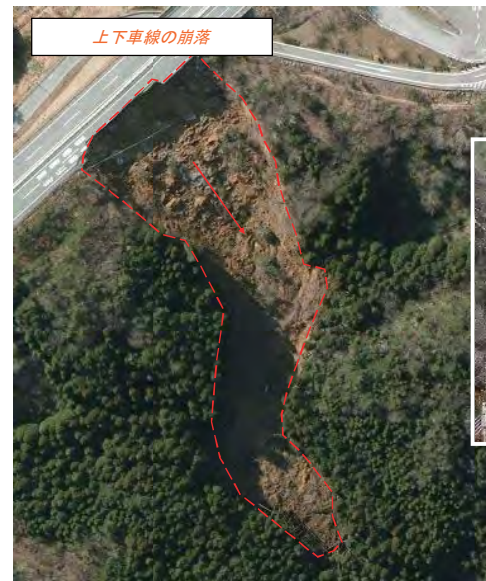
- 線形改良のために沢部を埋めた盛土が断続的に崩壊
- 旧道と新道に挟まれた部分は、以前から水田などとして利用
- 常時より地下水が盛土内に供給されていた可能性が高い

2007年能登半島地震

能登有料道路被害箇所



●縦32(STA17.7(七尾市中島町田岸))



●縦6(STA5.6(七尾市中島町豊田))



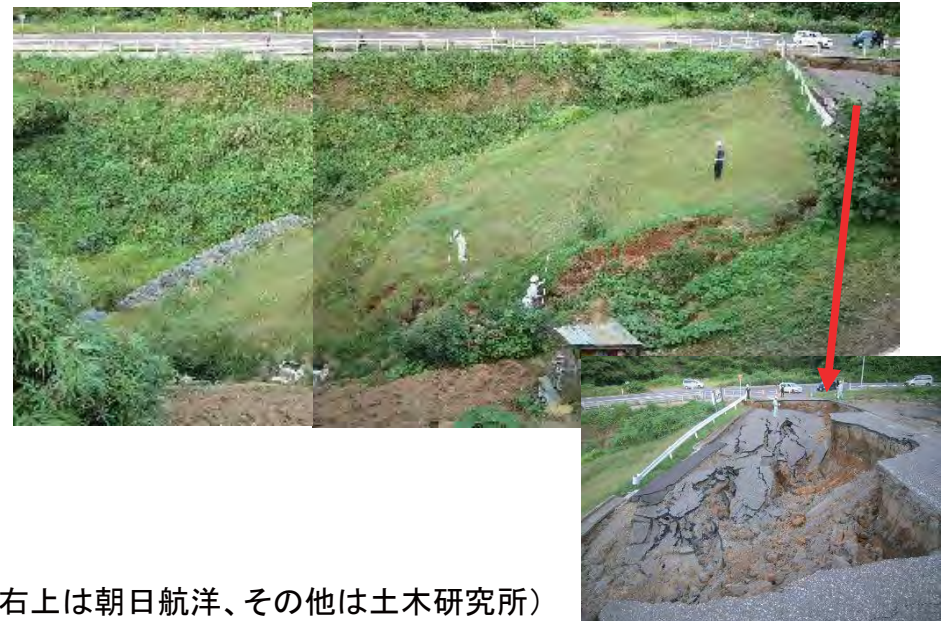
(出典: 石川県道路公社)

2007年新潟県中越沖地震

●国道8号 柏崎市鯨波地先



●国道8号沿い市道 柏崎市笠島地先



(出典: 左上は北陸地方整備局, 右上は朝日航洋、その他は土木研究所)

2007年新潟県中越沖地震

国道8号長岡市大積千本町



(出典:北陸地方整備局)

地すべりによる被害

- ・活動していない地すべり地の不安定度を定量的に評価するのは現時点では困難。



盛土被害の特徴と教訓

- ・中山間地域を襲った2004新潟県中越、2007能登半島地震では**沢埋め盛土**の被害が目立った。
- ・崩壊した土の底部はいずれも**地下水**で満たされていた。



- ・集水地形上の盛土は浸透水をできるだけ入れない、できるだけ排除することが必要。

- ・2007年新潟県中越沖地震では、**基礎地盤の液状化**による被害が発生した。



- ・沖積平野を走る道路では砂質土地盤の液状化による被害が避けられない
- ・盛土を強く構築するだけでは被害を防げない
- ・新設の場合は底部に**補強材の敷設**、あるいは**地盤改良**。
- ・既設盛土に対しては、地盤改良が考えられるが、費用が過大？
- ・ただし、平野部では万一崩壊しても、**迂回路**があることが多い、**比較的早期に復旧が可能**

道路盛土の既往の地震災害

- ・山地部の盛土では沢埋め盛土の被害が目立つ。
- ・沖積低平地の盛土では基礎地盤の液状化による被害が目立つ。

地盤(地山)条件		崩壊形態
平地部 (沖積地盤)	軟弱砂質土	液状化によるすべり、沈下
	軟弱粘性土	揺り込み沈下
平地部 (洪積より古い)		浅いのり面すべり
山地部	急傾斜地山	すべり崩壊
	沢部盛土	流動性崩壊

(2) 擁壁の被害の特徴

ブロック積み・重力式・L型擁壁の被害

国道117号

(2004年新潟県中越地震)



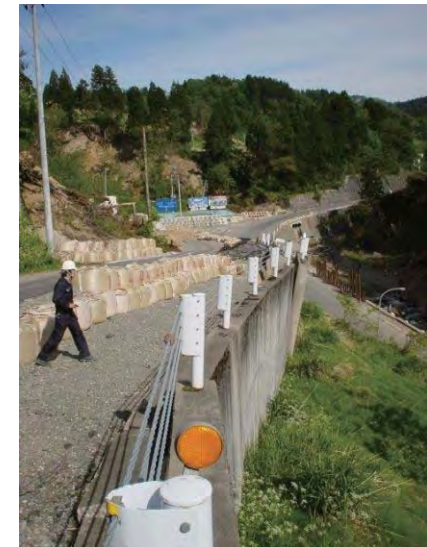
重力式
国道291号



国道17号 ブロック積み



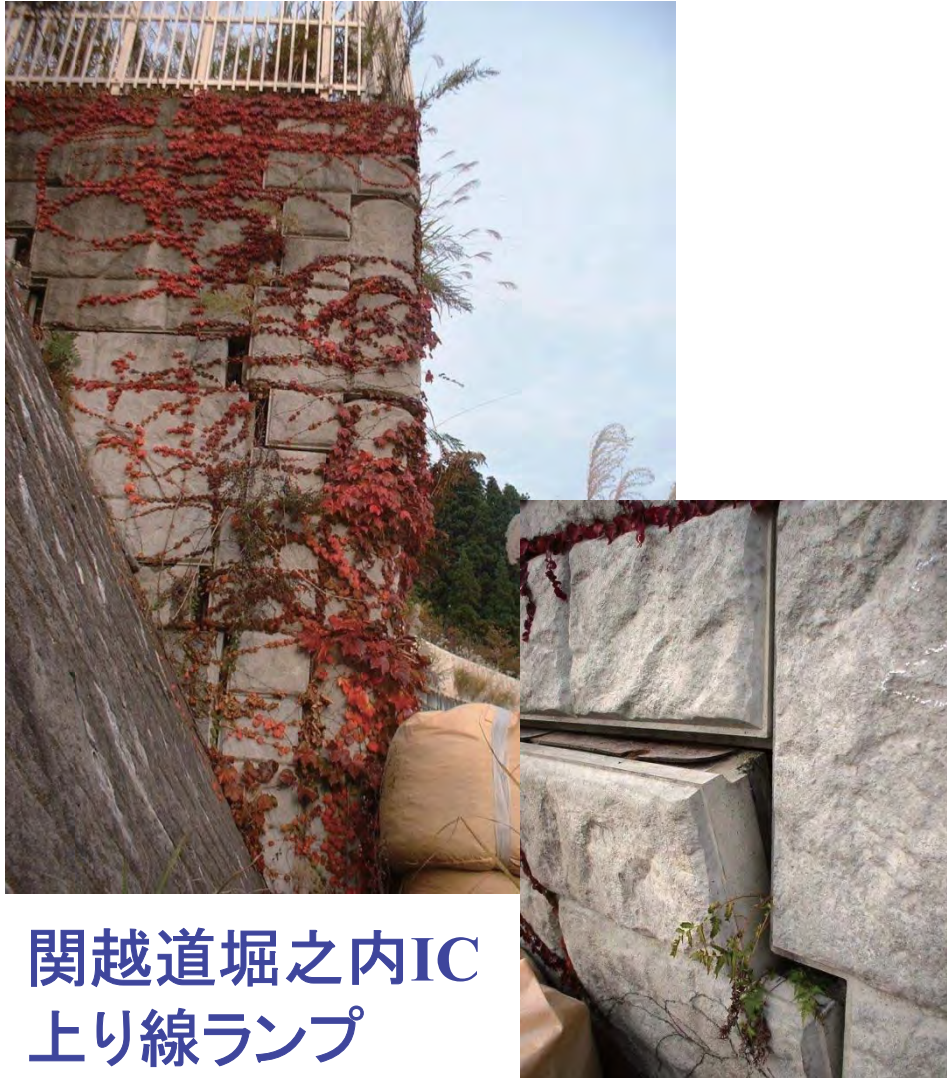
L型
県道千足
呼坂線



(出典:土木研究所)

補強土擁壁の被害

テールアルメ補強土擁壁



関越道堀之内IC
上り線ランプ

多数アンカー式補強土擁壁



県道千足呼坂線

(2004年新潟県中越地震)

擁壁被害の特徴と教訓

- ・ブロック積み擁壁の崩壊はあったが、L型・逆T型擁壁、補強土擁壁などでは崩壊に至る被害は生じなかった。
- ・**傾斜地盤上の擁壁**に基礎地盤の支持力不足による被害が多かった。
- ・被害の生じた擁壁の中には、**水の滲み出し**や**基礎がめり込んだ**事例も見られた。



- ・**傾斜地盤**における支持力，安定の確保
- ・堅固でない**基礎の置き換え**、
- ・背面土の**締固め**、
- ・**排水処理**、
が大切。

(3)カルバートの被害の特徴

関越道路(小千谷I.C.付近)

(2004年新潟県中越地震)

カルバート継目地の開き



(出典: 土木研究所)

カルバート翼壁等の損壊



関越道路(小千谷I.C.付近)
(2004年新潟県中越地震)

(出典:土木研究所)



カルバート被害の特徴と教訓

- ・軟弱地盤上のカルバートが**継ぎ目地で大きく開口**した。
(河川構造物である樋管では過去に散見されるが、道路カルバートでは珍しい。)
- ・**躯体**自体の致命的な損傷は見られなかった。



- ・カルバートの変位(ずれ)は、基礎地盤の置き換え砂の液状化、軟弱な基礎地盤の変形に追隨して生じる。これを防ぐには置換砂の安定処理、地盤改良。
- ・一**般的なカルバートは耐震設計がなされていない**が、過去の地震で致命的な被害を被った事例はない。
- ・他方、新形式のカルバート、大規模なカルバートについては従来型カルバートとの各作用に対する挙動の相違を検討した上で、適切かつ総合的な検討を加えて設計を行う必要。

(4) 構造物(橋台・カルバート)取付部の被害の特徴

橋梁取付部の段差



(主) 柏崎高浜堀之内線 柏崎市西山町西山 栄橋



路面陥没



7月17日 9:50復旧

(出典:北陸地方整備局)

構造物取付部被害の特徴

- ・いずれの地震でも多発した。
- ・踏み掛け版は地震対策として有効であった。

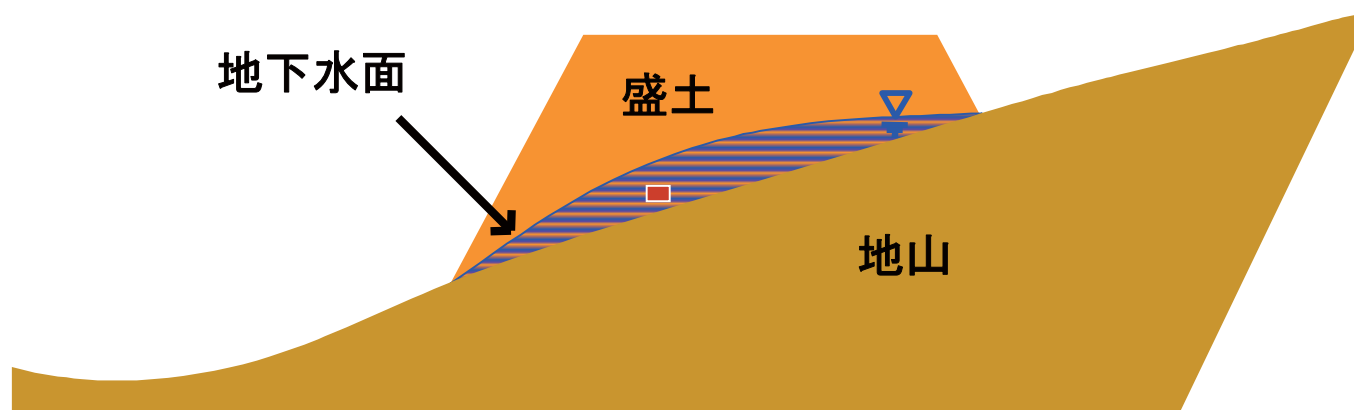


- ・被害の素因は3つある。
 - ・基礎地盤の沈下変形
 - ・盛土自体の揺すり込み沈下変形
 - ・橋台の前方への変位
- ・地震対策の観点からは踏み掛け版の設置が望ましい

【参考】

沢（谷）埋め盛土はなぜ崩壊しやすいのか？

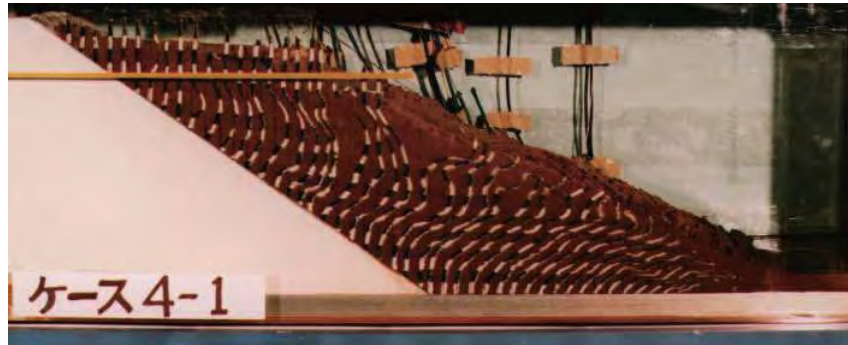
考えられる要因：地下水、土質、締固め度



模型実験による検討

加振による変形状況

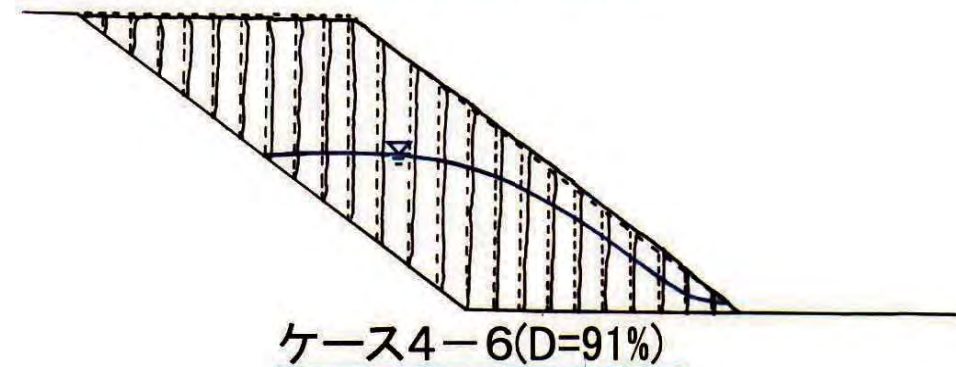
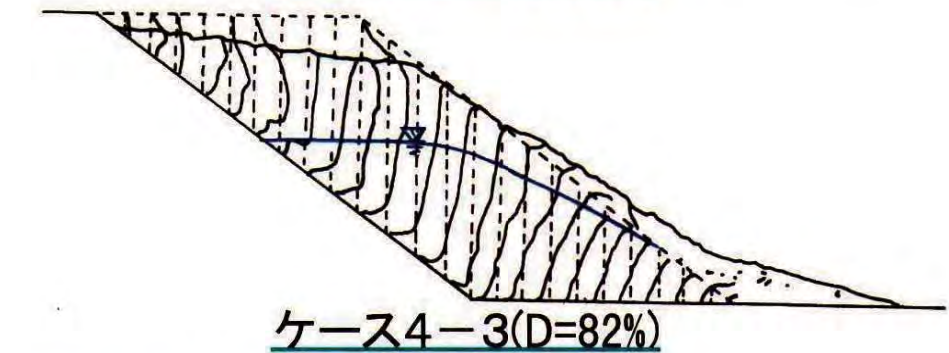
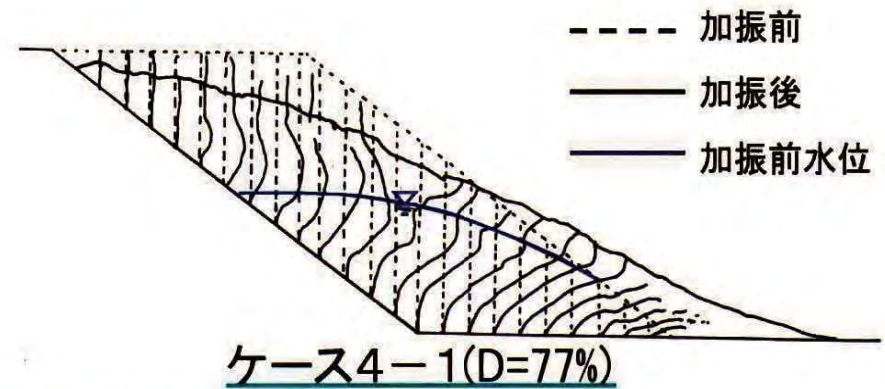
ケース4-1 (D=77%)



ケース4-3 (D=82%)



ケース4-6 (D=91%)

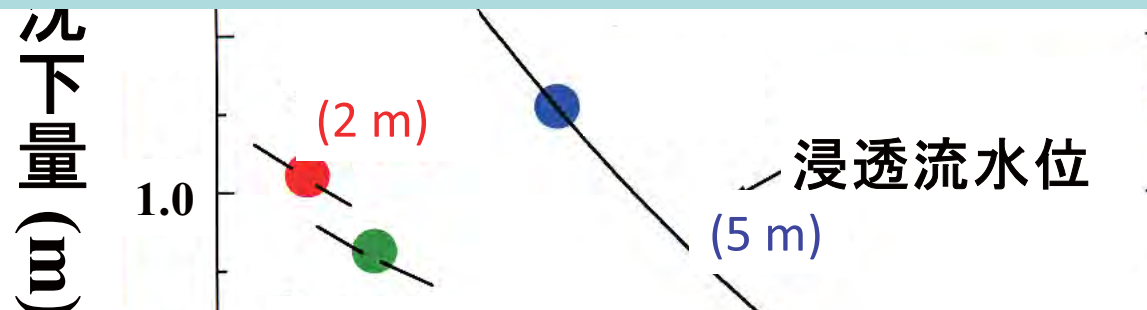


加振後の変形状況

(出典: 土木研究所)



- ・盛土をよく締め固めると耐震性は格段に向上する。
- ・盛土内水位を低下させると耐震性は格段に向上する。



- ・これらは地震時だけでなく豪雨時にも共通して重要。

締固め度 D (%) 締固め度 D と盛土沈下量との関係

2009年8月11日地震における 東名高速道路盛土の崩壊

「東名高速道路牧之原地区 地震災害検討委員会」での結論



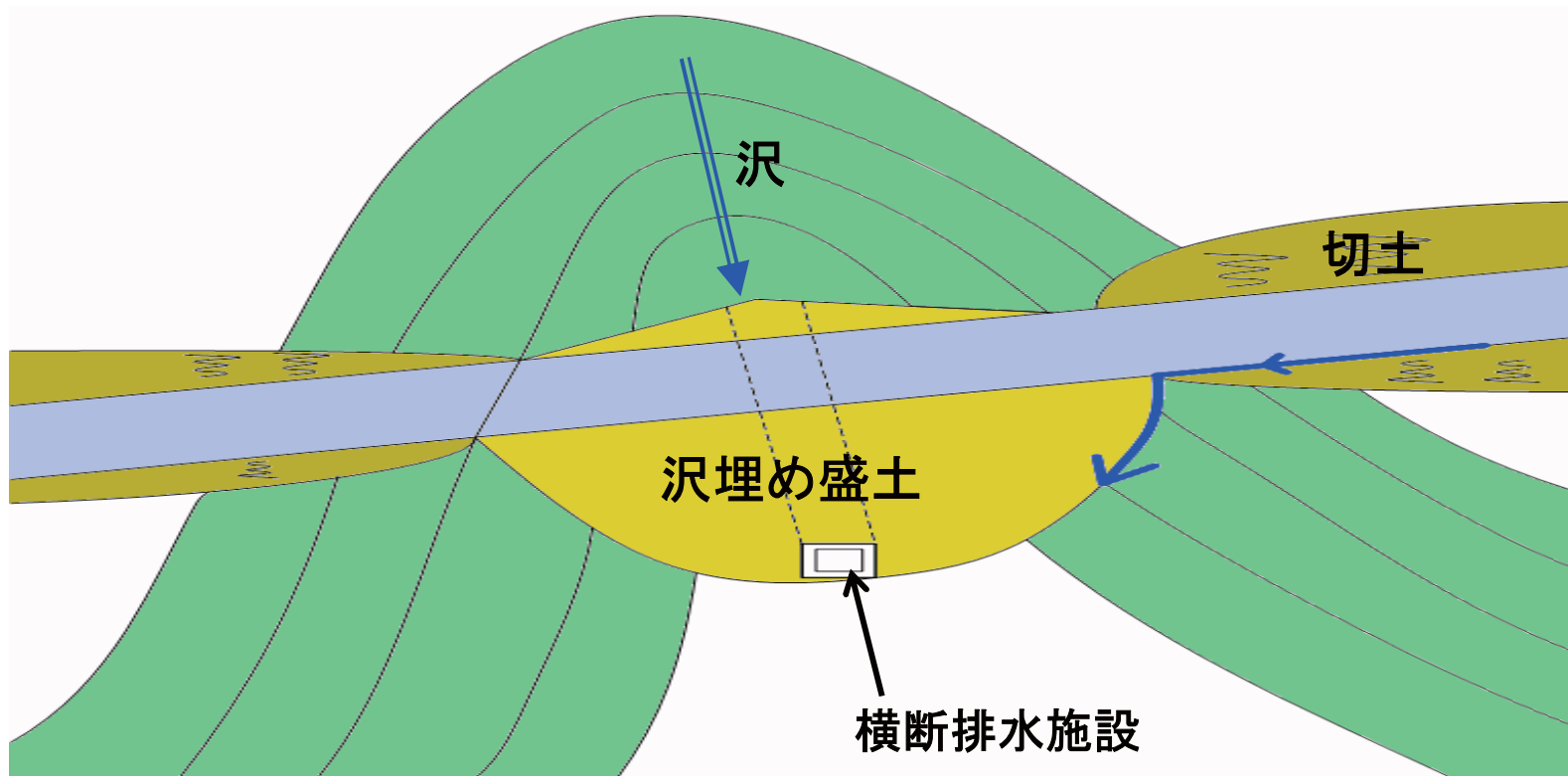
のり面崩落の原因

「盛土下部に使用されていた泥岩は、長年の水的作用により強度低下するとともに、透水性が低下した。その結果、盛土内の地下水位が上昇し、今回の地震が誘引となり崩落が発生したものと推定される。」

(出典: 中日本高速道路(株))

沢埋め盛土の耐震性向上 —新設時に配慮すべきこと—

- ・十分な**排水施設**（地下排水、側溝、横断排水）
- ・**地山処理**（崖錐掘削、段切り）
- ・丁寧な**締固め**



山岳盛土の耐震性向上 ー既設盛土ー

①耐震診断ー弱点箇所を如何に見付けるかー

(古い盛土では地質・土質情報が無いことが多い)

一次スクリーニング: ・地形判読
(「防災点検」) ・変状履歴

二次スクリーニング: ・詳細点検: サウンディング、
地下水位観測
・診断: 判定図表など

②耐震補強

- ・地下排水孔
- ・のり尻ふとん簗
- ・その他

沢(谷)埋め盛土の 耐震性についてのまとめ

(被害の実態)

- ・地震被害が多いのは、地下水(浸透水)の影響
- ・盛土の締固め、地山処理にも課題がある可能性

(被害のメカニズム)

- ・広義の液状化による
- ・盛土の締固め度が低いと流動性崩壊に至ることもある。

(被害の防止・軽減のために)

- ・盛土新設の際には、十分な締固め、地下排水施設の設置、地山の処理
- ・既設盛土については、常時の変状履歴、水の浸出状況、簡易な土質調査等により要注意盛土を抽出し、対策は地下排水孔、蛇籠など。

2. 「道路土工指針」の改訂における耐震に関連する主なポイント

① 「性能設計」の枠組みを導入

- ・どれくらいりっぱな道路を造るかを設定
- ・従来の仕様設計についての「みなし」を記載
- ・重要度の高い等の道路では性能を照査

② 震災の経験等から得た教訓を反映

- (例) 土工構造物では従来以上に排水処理と締固めを強化

③ 設計とともに丁寧な施工と施工管理

「道路土工要綱」2-4 設計 (p.31)

- (1) 設計に当たっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の容易さ、環境との調和、経済性について配慮しなければならない。
- (2) 設計は、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(1)を満足する仕様等、適切な知見に基づいて行うものとする。
- (3) 設計にあたっては、設計で前提とする施工、施工管理、維持管理の条件を定めなければならない。

【解説】(pp.31-32)

……各土工構造物の設計は以下より行うことを基本とした。

1) 切土工・斜面安定工の設計

……路線選定段階での災害の回避を基本とし、……設計段階のみならず、施工・維持管理段階で順次性能を高めていくことを基本とした。

2) 盛土、擁壁、カルバート、軟弱地盤対策工の設計

……盛土、擁壁、カルバートの設計に当たっては、……想定する作用に対する使用性、修復性、安全性の観点から要求性能を設定し、それを満足することを基本とした。

軟弱地盤対策工の設計においても、軟弱地盤上に構築される土工構造物に対して要求性能を設定することを基本とした。

3) 設計で前提とする条件

土工構造物の安定性、耐久性は設計のみならず施工の良し悪し、維持管理の程度により大きく依存する。……設計にあたっては、設計で前提とする施工、施工管理、維持管理の条件を定めなければならない。

要求性能の設定

(広義の)要求性能
(=「配慮事項」)

使用目的との適合性、
構造物の安全性、

耐久性、
施工品質の確保、
維持管理の容易さ、
環境との調和、
経済性

(狭義の)要求性能
(=性能規定の対象とするもの)

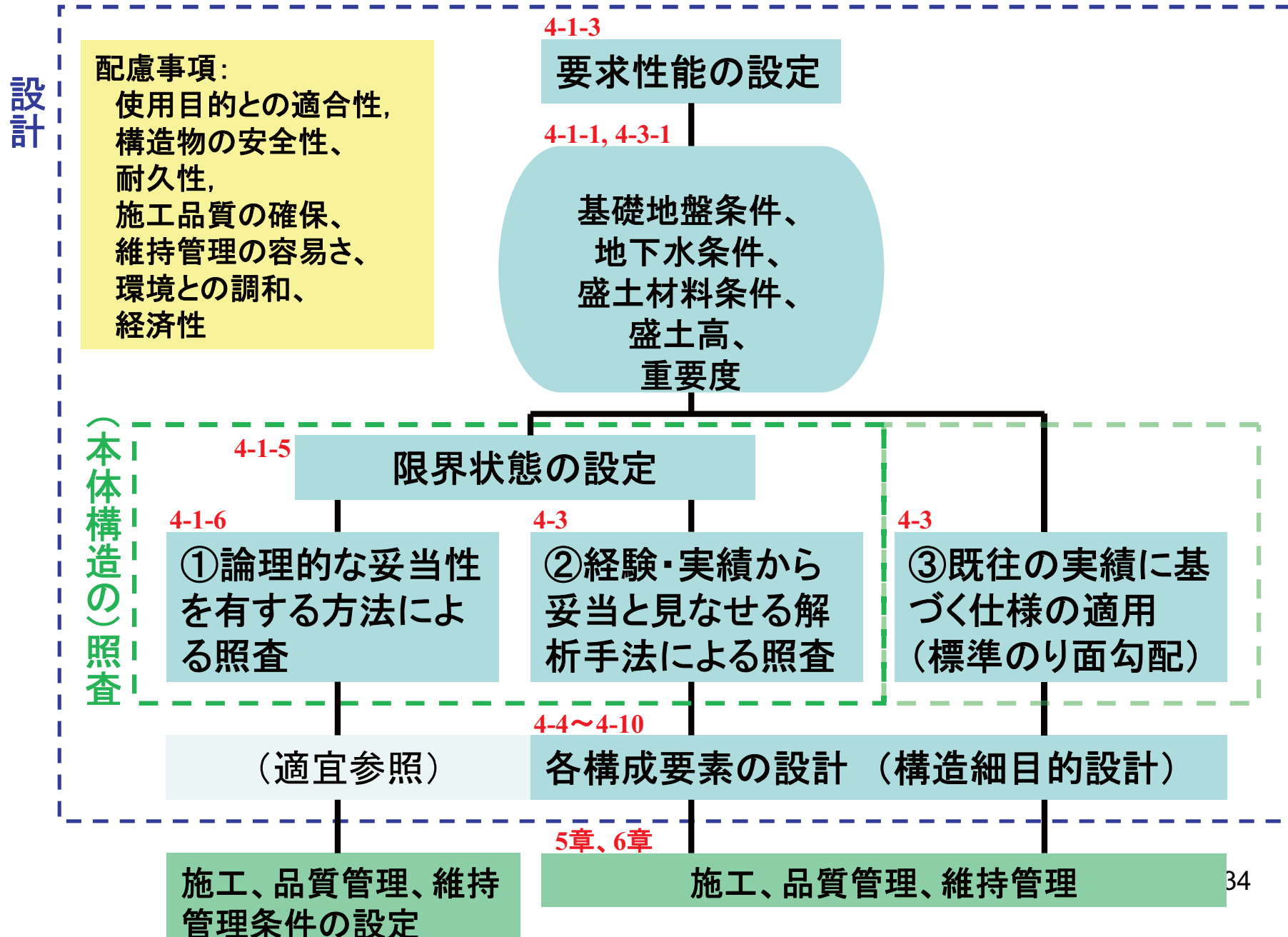
【要求性能の水準】

性能1: 供用性、修復性、安全性を満足
性能2: 修復性、安全性を満足
性能3: 安全性を満足

【性能規定】(例)

重要度		重要度 1	重要度 2
想定する作用			
常時の作用		性能1	性能1
降雨の作用		性能1	性能1
地震動の作用	レベル 1 地震動	性能1	性能2
	レベル 2 地震動	性能2	性能3

各指針における設計・照査の枠組み（盛土工指針の例）



4-1 基本方針

4-1-4 性能の照査

- (1) 盛土の設計に当たっては、原則として要求性能に応じて限界状態を設定し、想定する作用に対する盛土の状態が限界状態を超えないことを照査する。
- (2) 設計に当たっては、前提とする盛土の要求性能を実現できる施工、品質管理、維持管理の条件を定めなければならない。
- (3) 4-3及び4-4～4-11に従って設計し、5章以降に基づいて施工、品質管理、維持管理を行えば、上記(1),(2)を行ったとみなしてよい。

4-1 基本方針

4-1-4 性能の照査

【解説】

(1) 盛土の性能照査の原則

盛土の性能照査の原則を示したものである。盛土の設計に当たっては、要求性能に応じて限界状態を設定し、各作用に対する盛土の状態が限界状態を超えないことを照査することを原則とする。

盛土の限界状態は盛土条件、施工条件、維持管理の容易性等の諸条件によって様々な考え方がある。このため、一般的な盛土を対象とした限界状態の考え方を「4-1-5 盛土の限界状態」の解説に示している。

(2) 設計の前提条件

盛土の安定性、耐久性は、設計のみならず施工の良し悪し、維持管理の程度により大きく依存する。このため、設計に当たっては、前提とする施工、品質管理、維持管理の条件を定めなければならない。特に、盛土材料の力学特性は盛土材料の土質、締固めの程度に強く依存するため、設計に当たっては**前提とする強度が発揮されるよう、使用する盛土材料の土質、締固め管理基準値、品質管理の方法と頻度等を定める必要がある。**(以下略)

4-1 基本方針

4-1-4 性能の照査

【解説】

(3) 経験・実績に基づく照査手法

これまでの経験・実績から、4-3及び4-4～4-11に従って設計するとともに、5章以降の施工、品質管理、維持管理が行われる場合には、上記(1),(2)を満足するとみなしてよい。

4-3-1及び4-4～4-10には、**既往の経験・実績に基づく仕様を示しており、これに基づいた構造の盛土については、基礎地盤に問題がなく、基礎地盤からの地下水の浸透のおそれがなく、十分な排水処理及び入念な締固めが行われた場合には、過去において被害が限定的であり、ある程度の降雨・地震に耐え得ることが認められている。このことから、上記の仕様に基づいた盛土は、想定する作用に対して性能の照査を行わなくても、その適用範囲において解表4-1-1に例示した重要度1の盛土に要求される性能を満足するとみなせるものとする。**

一方、上記の仕様の適用範囲を大きく超える盛土については、過去において大規模な被害を受けた事例も認められる。このため、4-3-2～4-3-4には、既往の経験・実績から妥当な結果を与えるとみなせる各作用に対する安定性の照査法を示しており、**既往の事例から各作用により変状・被害が想定されるような条件の盛土については、これに従い安定性の照査を行うことにより所定の要求性能を満足するとみなすことができる。**

4-3 盛土の安定性の照査

4-3-1 一般

- (1) 盛土の設計に当たっては、想定する作用に対し、盛土及び基礎地盤の安定性を照査することを原則とする。ただし、既往の経験・実績に基づく仕様に基づいて設計を行えばこれを省略してよい。
- (2) 常時の作用、降雨の作用及び地震動の作用に対する盛土の安定性の照査は、それぞれ4-3-2, 4-3-3及び4-3-4に従ってよい。
- (3) 上記(1), (2)は5章以降に示した施工、品質管理、維持管理が行われることが前提である。

4-3 盛土の安定性の照査

4-3-1 一般

【解説】

……盛土本体の設計を、既往の経験・実績に基づく仕様(後述する標準のり面勾配)の適用、あるいは工学的計算による盛土の安定性の照査のいずれで行うかは、基礎地盤や盛土の条件等による。

……盛土及び盛土周辺地盤の条件が以下のいずれかに該当する場合には、常時の作用に対して、さらには必要に応じて降雨の作用及び地震動の作用に対する安定性の照査を行い、盛土構造(盛土材料の使用区分等)、地下排水工、のり面勾配及び保護工、締固め管理基準値を検討するとともに、必要に応じて地盤対策を検討する。また、以下の条件のいずれにも該当しない、あるいは該当しても対策等によりその不安定要因(条件)に対処できる場合には、後述する標準のり面勾配を適用することができる。

(i) 盛土周辺の地盤条件

- (a) 盛土の基礎地盤が軟弱地盤や地すべり地のように不安定な場合、
- (b) 降雨や浸透水の作用を受けやすい場合、
- (c) 盛土が水際にあり、常時及び洪水時等に盛土のり尻付近が浸食されるおそれがある場合。

(ii) 盛土自体の条件

- (a) 盛土高・のり面勾配が解表4-3-2に示す標準値を超える場合、
- (b) 盛土材料が解表4-3-2に該当しないような特殊土からなる場合。

4-3-4 地震動の作用に対する盛土の安定性の照査

- (1) 重要度1の盛土のうち、盛土の特性や周辺地盤の特性から大きな被害が想定される盛土については地震動の作用に対する盛土の安定性の照査を行うことを原則とする。地震動の作用に対する盛土の安定性の照査に当たっては、十分な排水処理と入念な締固めを前提に、レベル1地震動に対する照査を行えば、レベル2地震動に対する照査を省略してよい。ただし、極めて重大な二次的被害のおそれのある盛土についてはレベル2地震動に対する照査を行うことが望ましい。
- (2) 地震動の作用に対する盛土の安定性の照査においては、地震動レベルに応じて盛土及び基礎地盤がすべりに対して安定であること、ないしは、変位が許容変位以下であることを照査するものとする。このとき、許容変位は、上部道路への影響、損傷した場合の修復性及び隣接する施設への影響を考慮して定めるものとする。
- (3) レベル1地震動の作用に対する性能1の照査及びレベル2地震動の作用に対する性能2の照査は、地震の影響を考慮した円弧すべり法によって盛土及び基礎地盤のすべりに対する安定を照査することにより行ってよい。

4-3-4 地震動の作用に対する盛土の安定性の照査

【解説】

(1) 地震動の作用に対する盛土の安定性の照査の基本的考え方

地震動の作用に対する盛土の安定性の照査に当たっては、上述した基礎地盤の処理、排水処理、締固め等の入念な施工が行われることを前提とする。

……安定の照査を行うのが望ましい場合。

計算結果だけに依存せず総合的に判断。

(2) ,(3) 地震動の作用に対する盛土の安定性の照査の方法

1) 照査指標と許容値 ……地震時残留沈下量

2) 照査の考え方

①性能1の照査 ……地震時残留沈下量、円弧すべり安全率

②性能2の照査 ……地震時残留沈下量、円弧すべり安全率

3) 照査手法 ……適切な照査手法を選定する必要がある

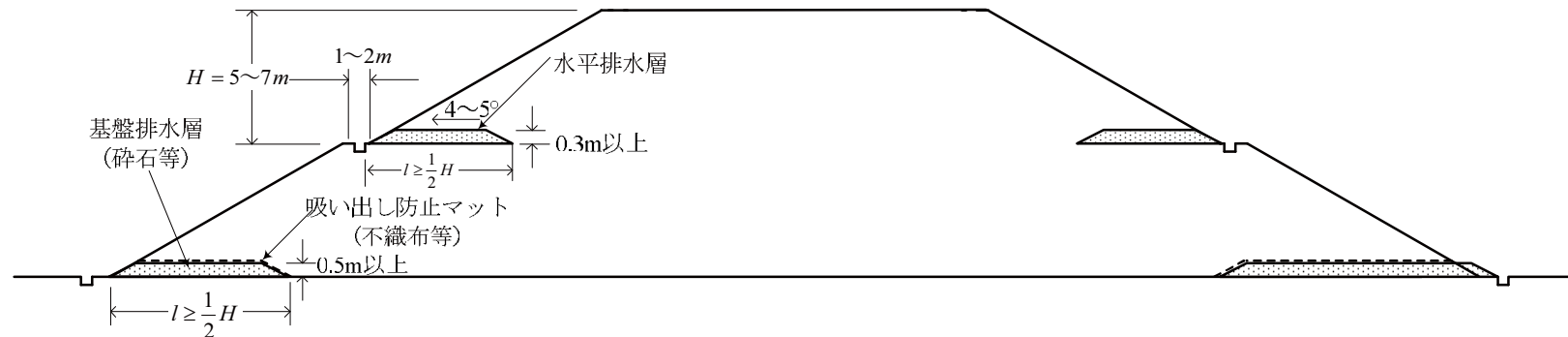
①安定解析手法 ……震度法＋円弧すべり面法を紹介

②地震時残留変形解析手法 ……代表例としてニューマーク法を紹介

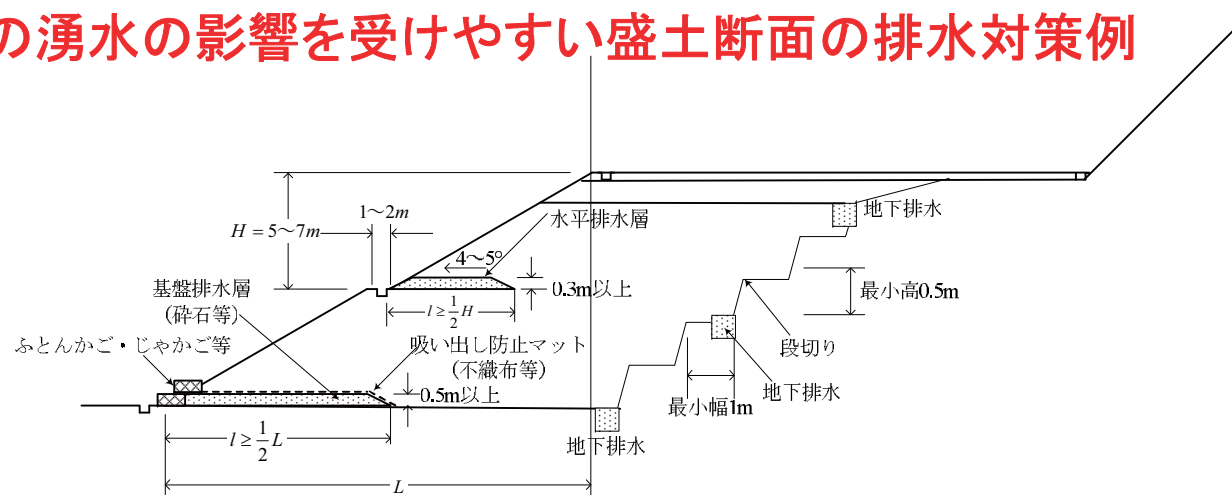
「適切な排水施設」の例

(「盛土工指針」第4章)

平地部盛土における盛土断面の排水対策例



地山からの湧水の影響を受けやすい盛土断面の排水対策例



岩砕盛土等の盛土材の透水性が高い場合や平地部の両盛土で基礎地盤の地下水位が深い場合には、排水対策を省略してもよい。

5-4 締固め

5-4-1 締固めの基本

盛土の施工に当たっては、締め固めた土の性質の恒久性及び設計で設定した盛土の所要力学特性を確保するため、盛土材料及び盛土の構成部分等に応じた適切な締固めを行うものとする。

本来、締固め管理基準値は、設計で盛土に要求する性能に対応した力学特性（せん断強さ、変形係数等）を確保するように設定するのが原則であり、この場合、盛土材料について一連の室内土質試験を実施した結果に基づき所要の締固め度を設定することになる。しかしながら、盛土の設計は「第4章 設計」に述べられているように、そのような試験及び安定計算等を経ず、これまでの経験及び実績に基づく仕様を適用してよい場合も多い。解表5-4-4はそのような場合に参照されることを想定したものである。また、この締固め度管理基準値は、盛土に求める性能及び土質材料により異なるべきものであるが、現時点でそれを提示するだけの根拠材料が揃っていないこと、及び従来の管理基準値に基づいて構築された盛土は排水処理が適切である限りにおいてはおおよそ健全に機能しているとみられること等の理由から、一応の目安として示したものである。……

他方、締固めは盛土の品質を左右する重要な土工であることは繰り返すまでもないことであり、このため、重要度の高い盛土等においては解表5-4-4の数値にとらわれず、より適切な管理基準値を採用することを検討するのが望まれる。

特に、集水地形上の盛土、傾斜地盤上の盛土、あるいは高盛土は豪雨・地震時に変状が生じやすいので、通常以上の管理基準値を採用するのがよい。

盛土の締固め管理基準値の目安

解表5-4-4 (1) 日常管理の基準値の目安【路体】

区分	仕上がり 厚さ	管理基準値					施工 含水比
		土砂区分	締固め度Dc(%)	特別 規定値 Ds(%)	空気 間隙率 va(%)	飽和度 Sr(%)	
土砂	30cm以下	粘性土	— (※1)	—	10以下	85以上	(※2)
		砂質土	90以上 法 (A,B)	—	—	—	
		40mm以上が主 体	—	90以上	—	—	
岩塊	試験施工 により決 定	試験施工により決定					

・締固め管理基準値は本来、土質や要求性能によって変わるべきものであるが、そのための根拠資料が揃っていないことから、従来の値を目安として提示。

解表5-4-4 (2) 日常管理の基準値の目安【路床及び構造物との取付け部】

施工部位	仕上がり 厚さ	土砂区分	管理基準値		施工 含水比
			締固め度Dc(%)	空気間隙率 va(%)	
路床	20cm以下	粘性土	—	8以下	最適含水比 付近
		砂質土	95以上 法 (A,B) 90以上 法 (C,D,E)	—	
構造物接続部	20～30cm	粘性土	—	8以下	
		砂質土	95以上 法 (A,B) 90以上 法 (C,D,E)	—	

3. 運用にあたっての留意事項

担当者別に見た改訂のポイント

- ・どのような構造物を構築するか(要求性能)を示すことになる。
【発注者・設計者】
- ・適切な設計技術の選定
【設計者】
- ・設計で前提とする施工・維持管理の条件(盛土材料, 締固め
管理基準, 補修の頻度等)の明示
【発注者・設計者】
- ・施工段階で見出された地山状況・土質材料に応じた柔軟な対
応
【施工者・発注者・設計者】
- ・地山処理・排水処理・締固めへの注意深い対応
【発注者・施工者・設計者】
- ・施工管理の充実
【施工者・発注者】
- ・施工時データ・変状履歴等の蓄積、維持管理への活用
【発注者】