

地盤強化改良工学

地盤改良技術とその応用
2010

東京理科大学
土木工学科
龍岡 文夫

地盤工学の枠組みにおける講義科目の関連

		科目名		担当教員	
2年前期	土質力学に関する 基礎知識を学ぶ	土質力学演習Ⅰ	龍岡・塚本	土質力学Ⅰ	龍岡・塚本
2年後期		土質力学演習Ⅱ	龍岡・塚本	土質力学Ⅱ	龍岡・塚本
3年前期	地盤工学に関する 基礎知識を学ぶ	土質工学実験	龍岡・塚本	地盤強化改良工学	龍岡
3年後期		土質工学実験	龍岡・塚本	土木基礎工学	塚本
大学院前期	地盤工学に関する 専門知識を学ぶ	注) 破線内：基礎科目、点線内：基幹科目			
大学院後期		地盤改良と補強法	龍岡	B	
		土木基礎工学特論	塚本	A	
		土の強さと地盤の安定性	龍岡	C	
		地震地盤工学特論	塚本	B	
		土質動力学	塚本	A	
		岩盤工学	伊藤	B	

注) 講義内容の区分～A:特論、B:中間、C:一般 (CV大学院生全員を対象)

5月26日： 中間試験

地盤工学

- 地盤の反応の予測(土質力学):
解釈的・学問的
- 人工地盤を積極的に建設、地盤を改良:
製造業的・実務的

両者は、割と分離。
理学と工学の起源が異なり、分離しているように。

両者の統一が、龍岡のライフワーク

地盤強化改良工学

地盤改良技術とその応用 2010

構成:

1. 概論
2. 引張り補強の原理と実際
3. セメント混合による改良の原理と実際
4. 盛土の性能設計と締固め管理

1. 概論

1.1 地盤改良の重要性

1.2 地盤改良技術の例

1) 関西国際空港

- a) 沖積粘性土層：沈下を供用前に終了させておく(サンドドレイン、SCP等々とプレロード)
- b) 洪積粘土層：深く厚くて地盤改良が出来ない(大問題が残った)
- c) 埋め立て砂層：液状化防止(振動締固め等)

2) 東京湾横断道路

- a) 沖積粘性土層：安定と沈下防止(SCPと原位置セメント混合)
- b) 盛土：安定と変形防止(セメント混合土盛土)

3) 交通路の高架化、斜面に平地の創造：補強土工法

- a) 地山の急勾配化と安定：
- b) 補強土の擁壁

1.3 地盤改良工法の原理と分類

1. 概論

1.1 地盤改良の重要性

1.2 地盤改良技術の例

1) 関西国際空港

- a) 沖積粘性土層：沈下を供用前に終了させておく(サンドドレイン、SCP等々とプレロード)
- b) 洪積粘土層：深く厚くて地盤改良が出来ない(大問題が残った)
- c) 埋め立て砂層：液状化防止(振動締固め等)

2) 東京湾横断道路

- a) 沖積粘性土層：安定と沈下防止(SCPと原位置セメント混合)
- b) 盛土：安定と変形防止(セメント混合土盛土)

3) 交通路の高架化、斜面に平地の創造：補強土工法

- a) 地山の急勾配化と安定：
- b) 補強土の擁壁

1.3 地盤改良工法の原理と分類

地盤改良の必要性に対する社会的背景

我が国の宿命： 狭い(海岸平地が)、山国、地震国と資本主義

1) 狭い国土の有効利用(特に日本)：

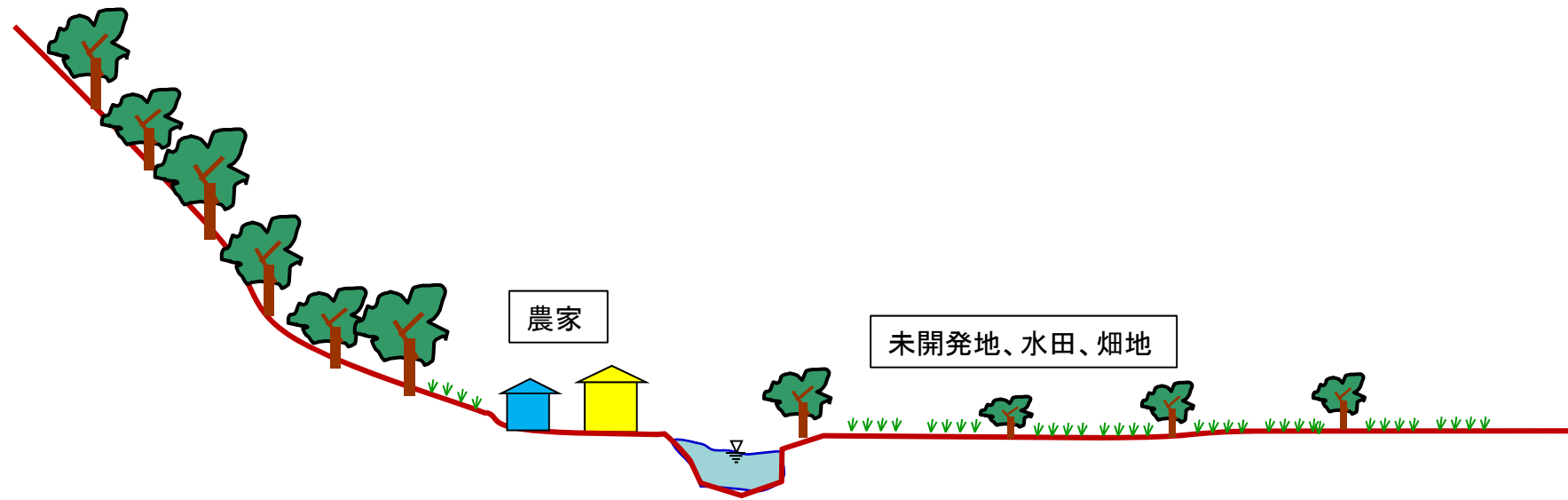
例) 厚い沖積粘土層に砂質の盛土をして空港建設、
羽田、関西国際空港
山間部・都市部に道路・鉄道の建設

2) 費用対効果 cost/effectivenessの低下とより高い機能

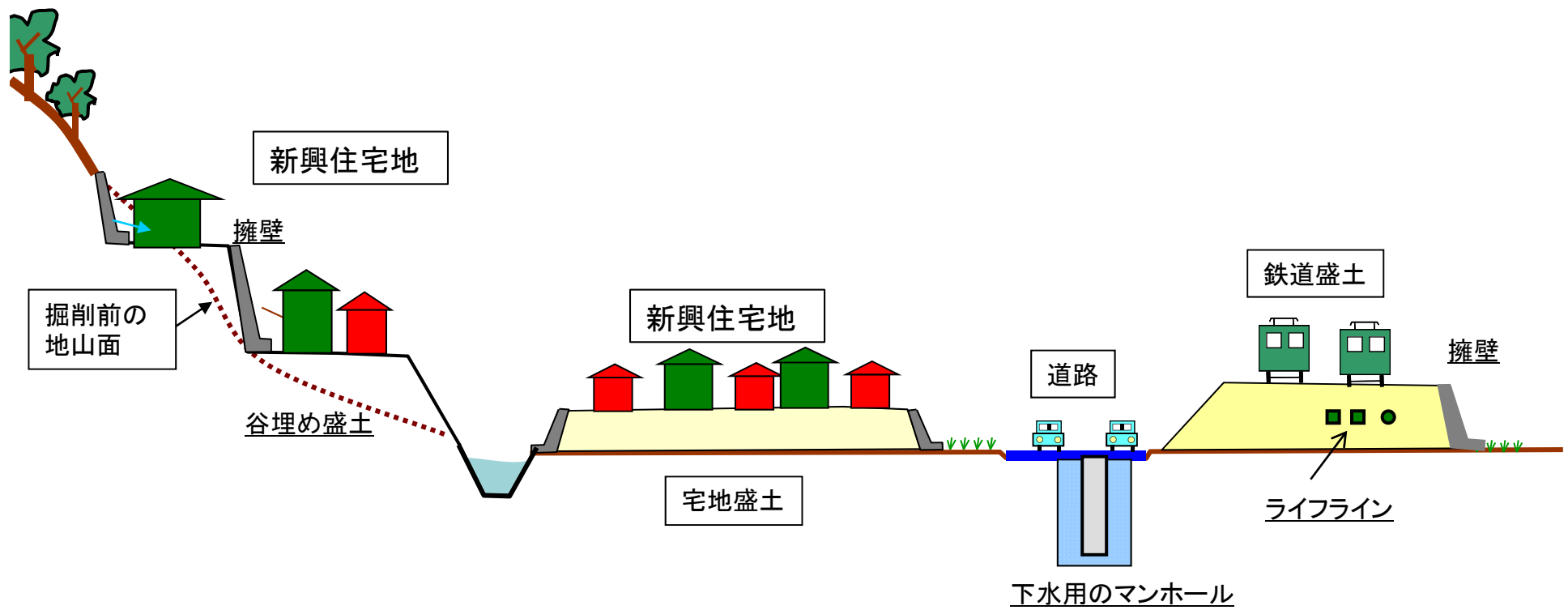
- ・時は金なり
- ・変形抑制、破壊防止(特に地震対策)

3) 自然環境保持(例：山間部の道路、鉄道)

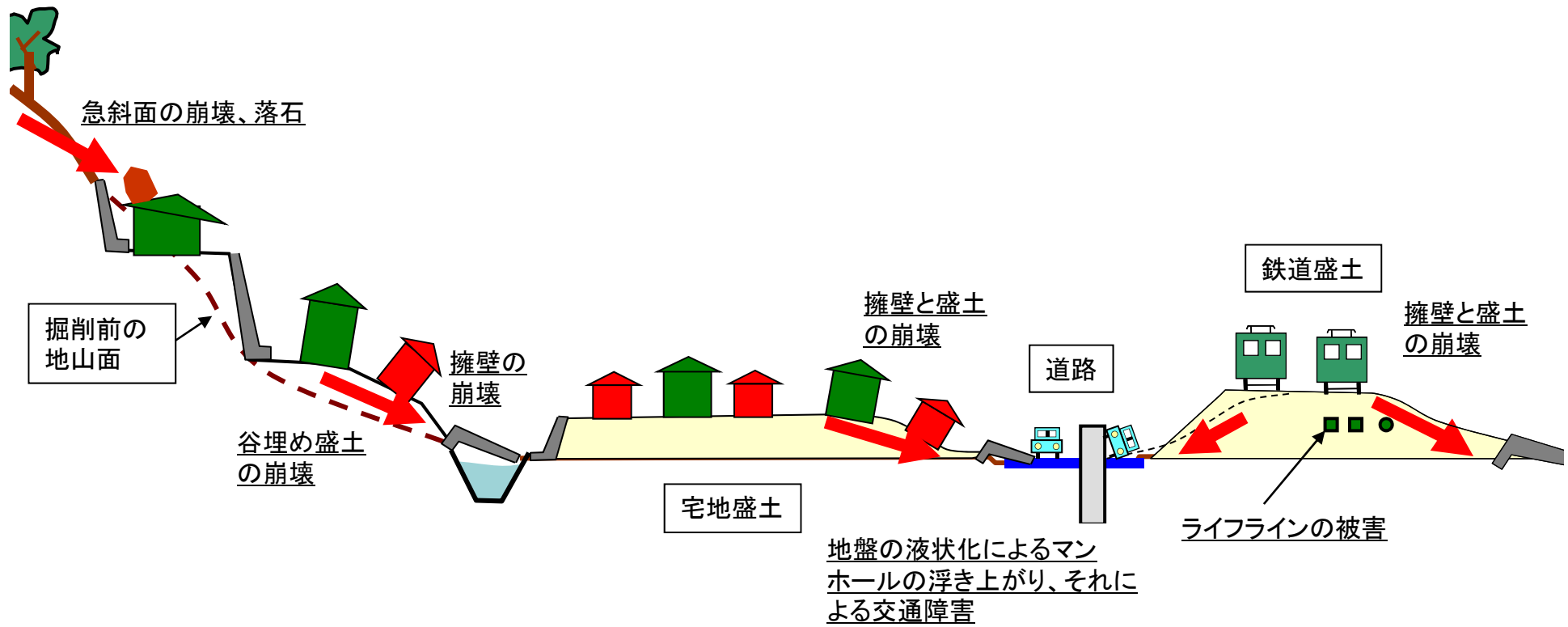
- ・自然材料の活用による総建設エネルギーの減少
(排出CO₂の減少)



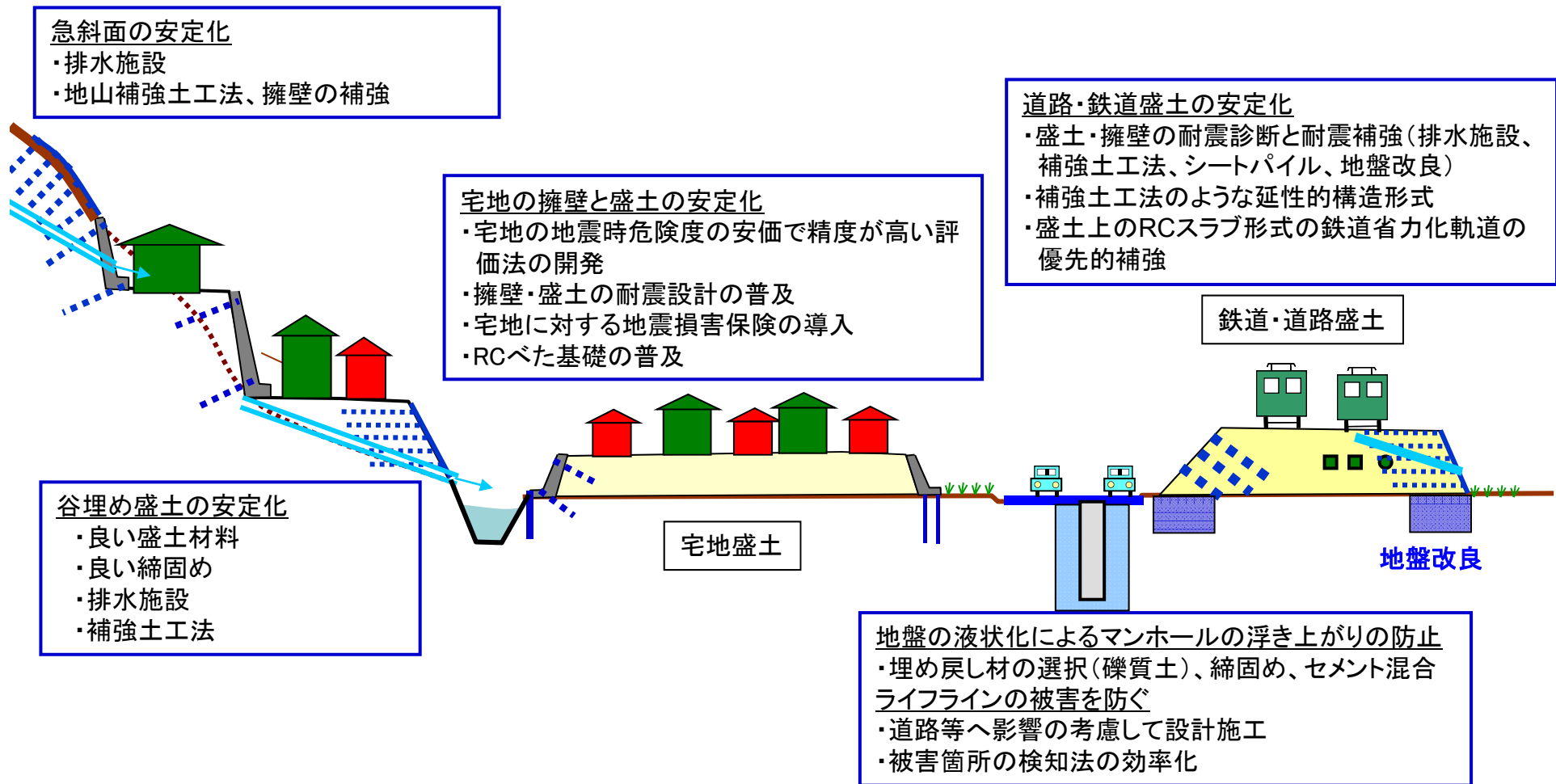
近代的開発の前(内陸部)



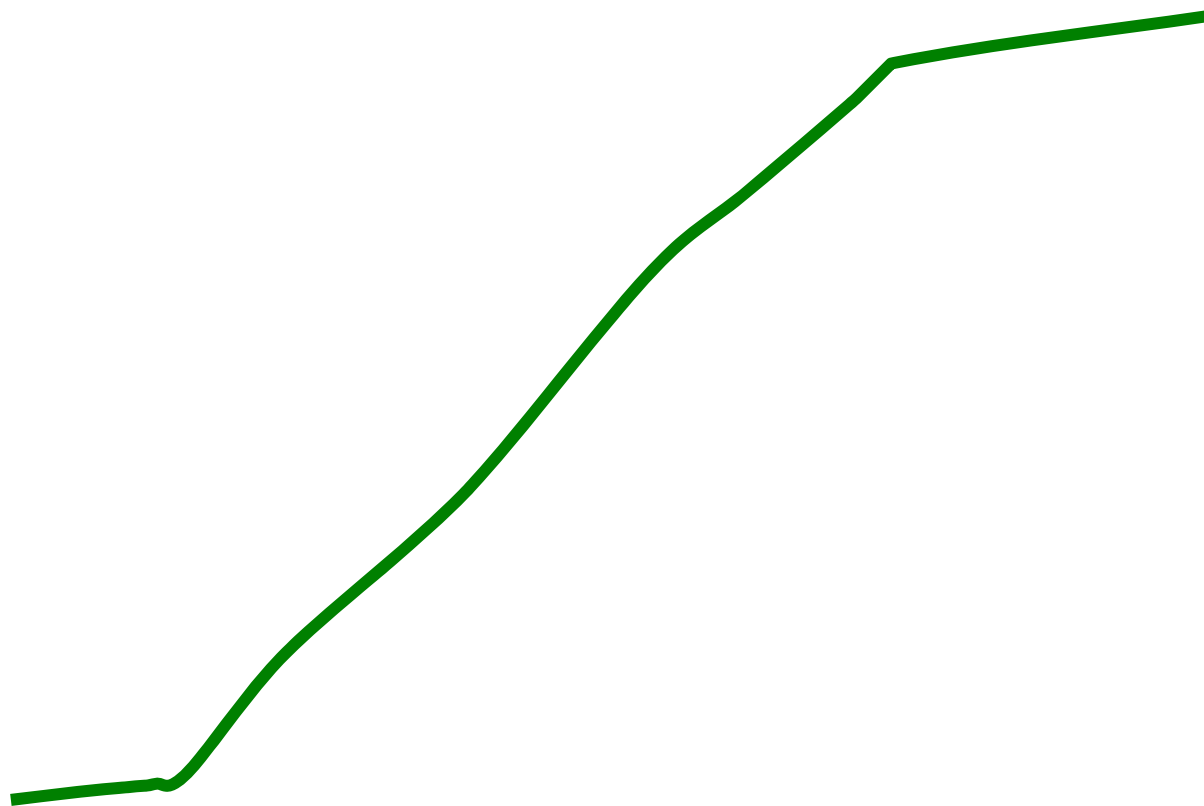
近代的開発の後(内陸部)



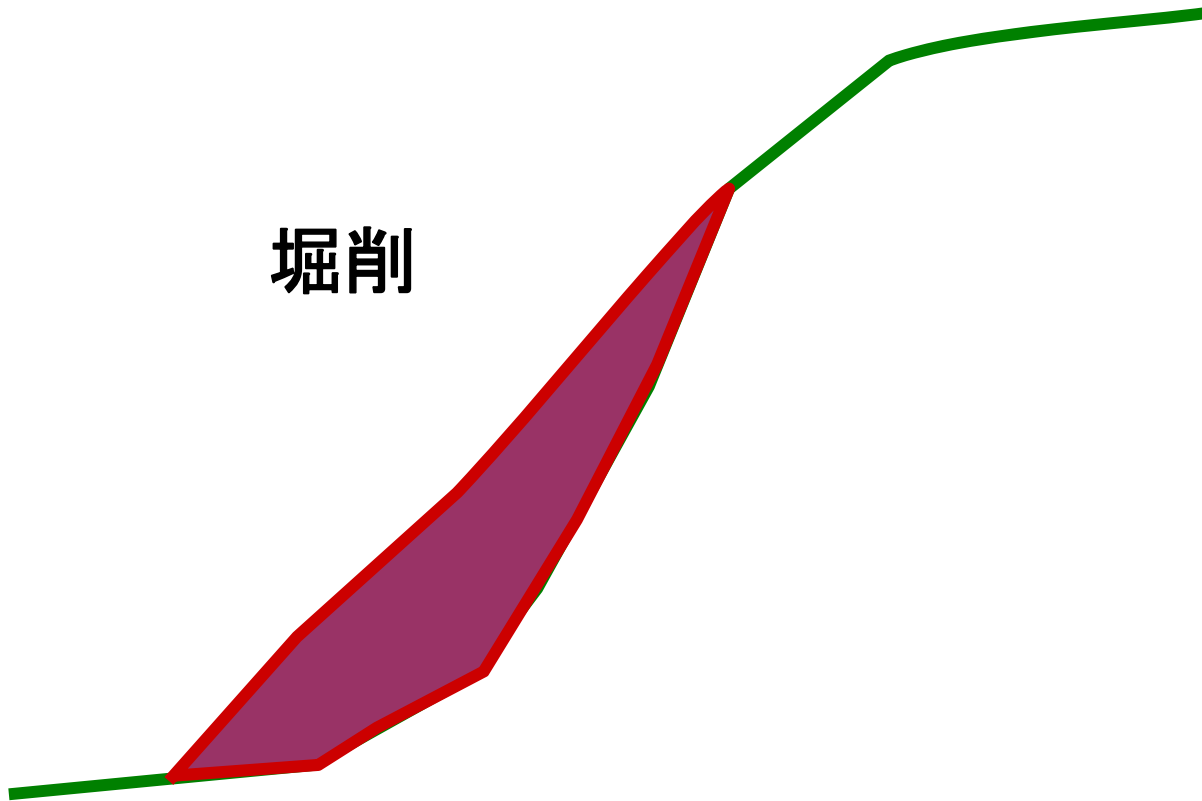
近代的開発後の様々な地盤災害(内陸部)



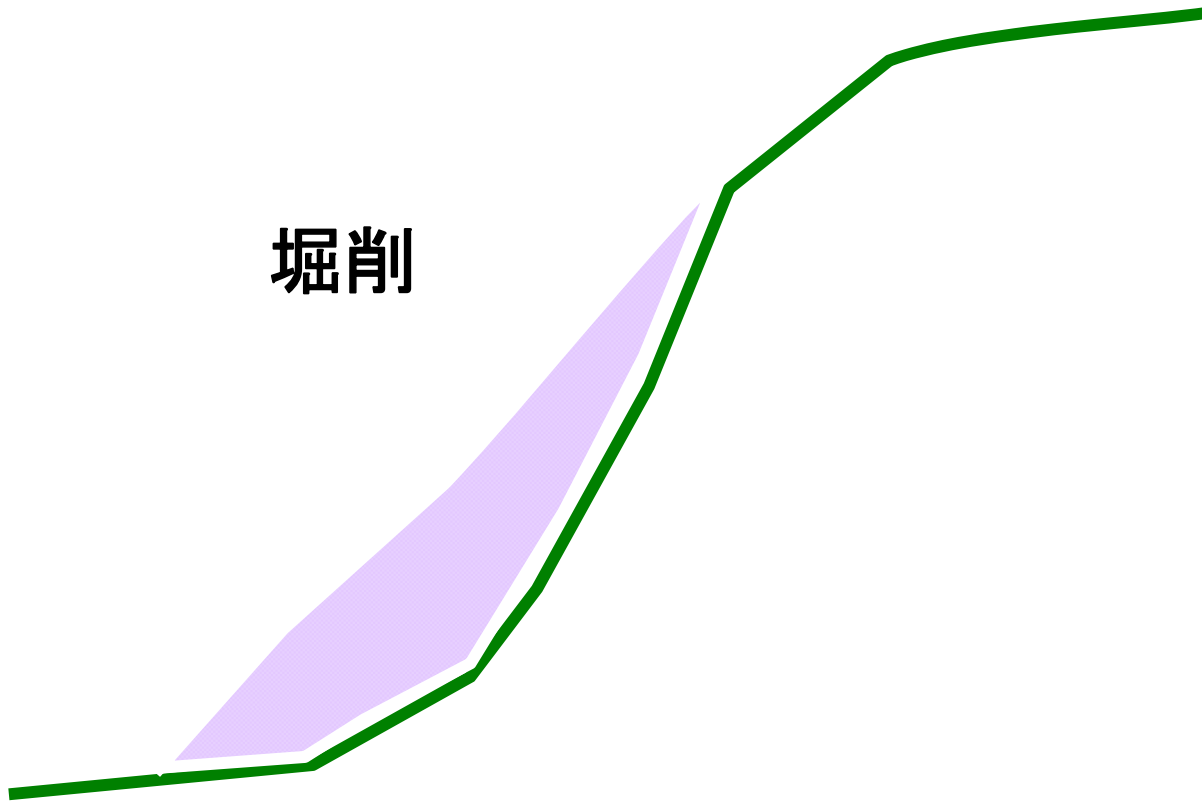
被害を防ぐための近代的技術（内陸部）

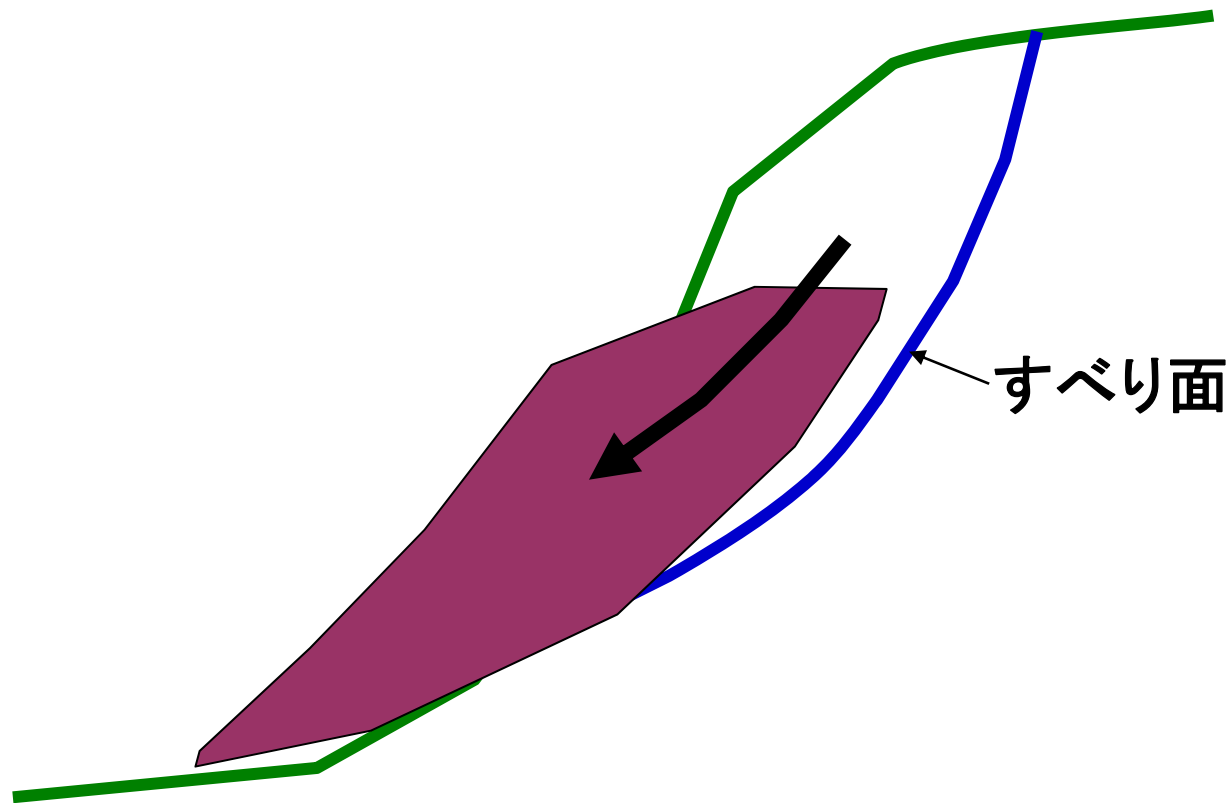


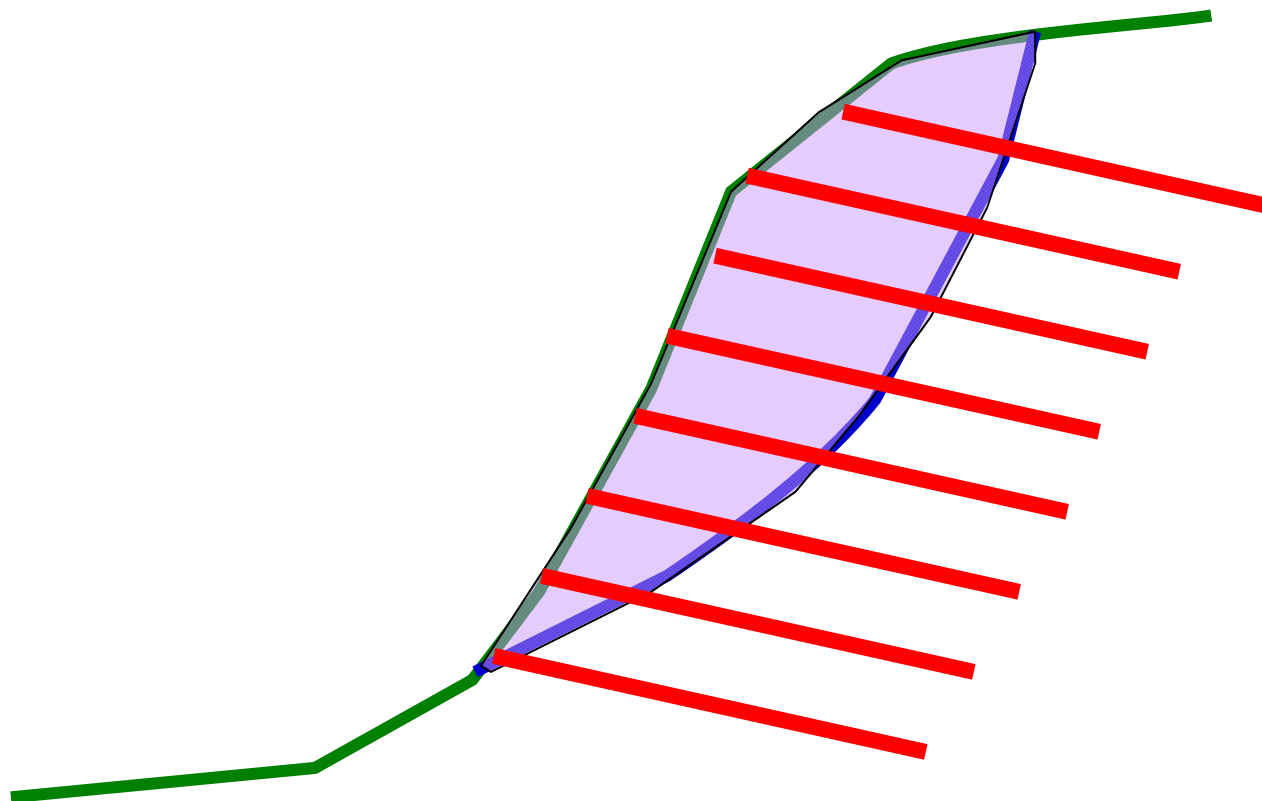
堀削



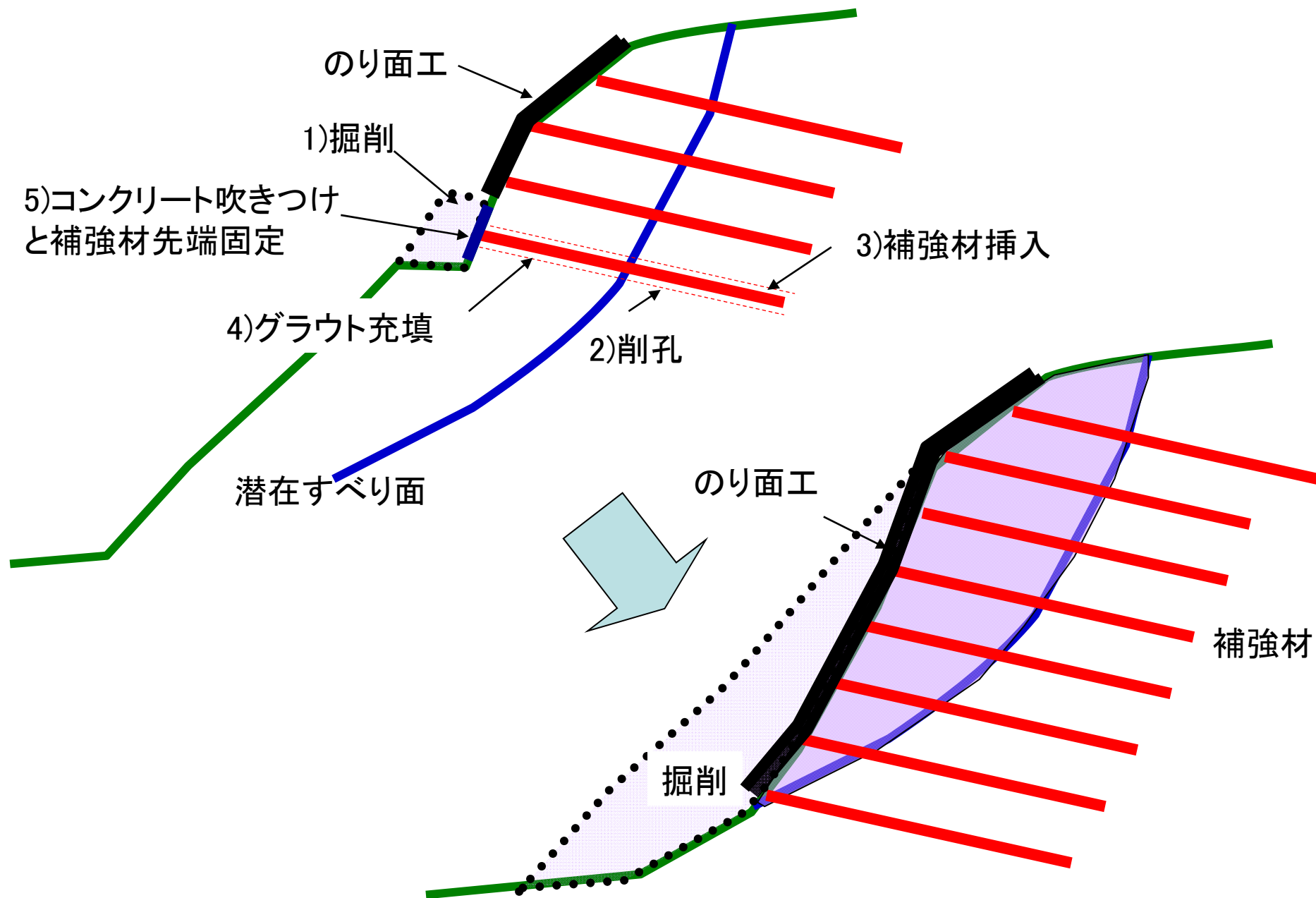
堀削







補強材はすべり面の発生を抑制



地山補強土工法による掘削斜面の安定化(数字は工程順を表す)¹⁷

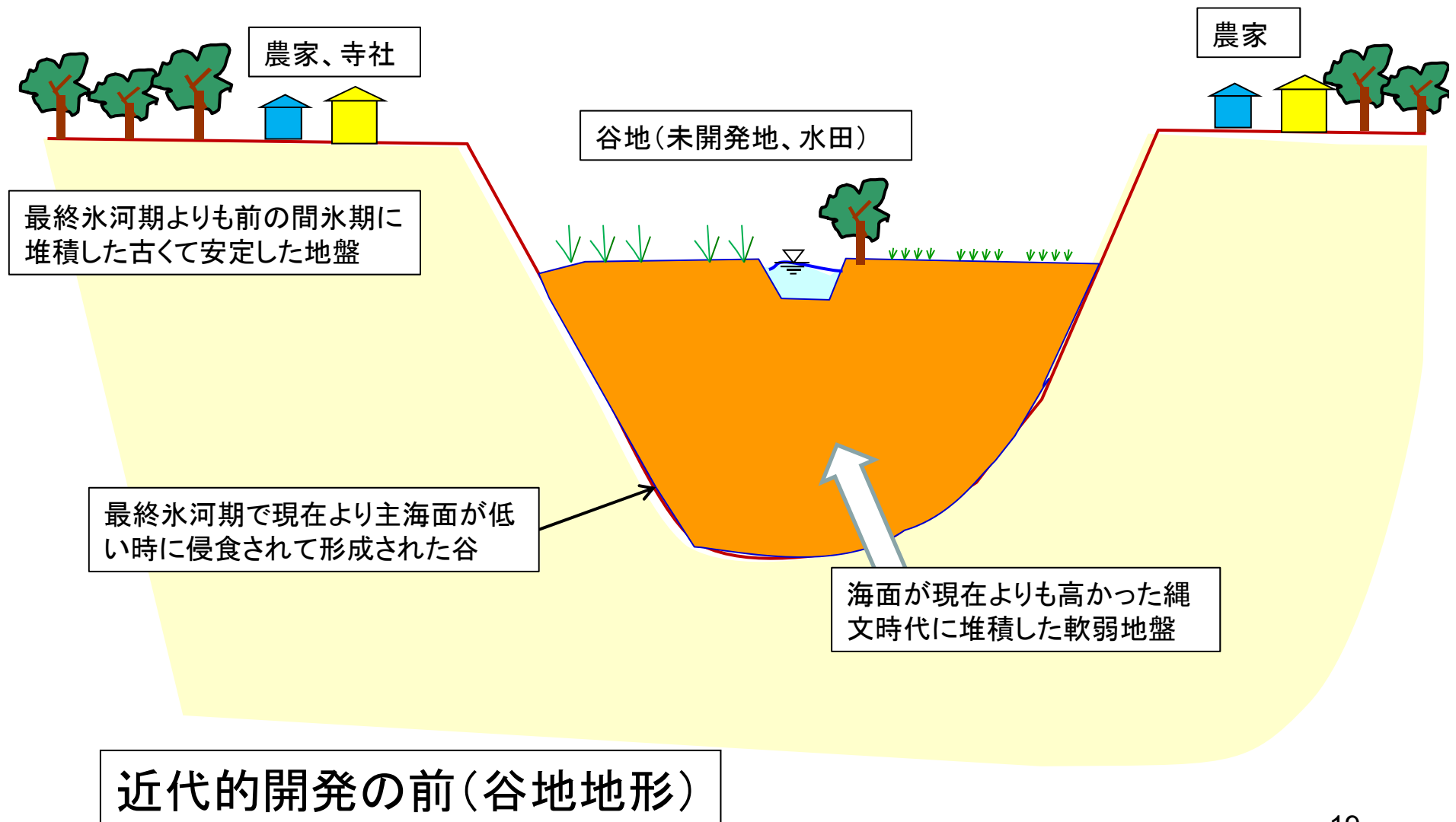
太径の補強材
(地山補強土工法)
盛土のり面の耐震性を高める

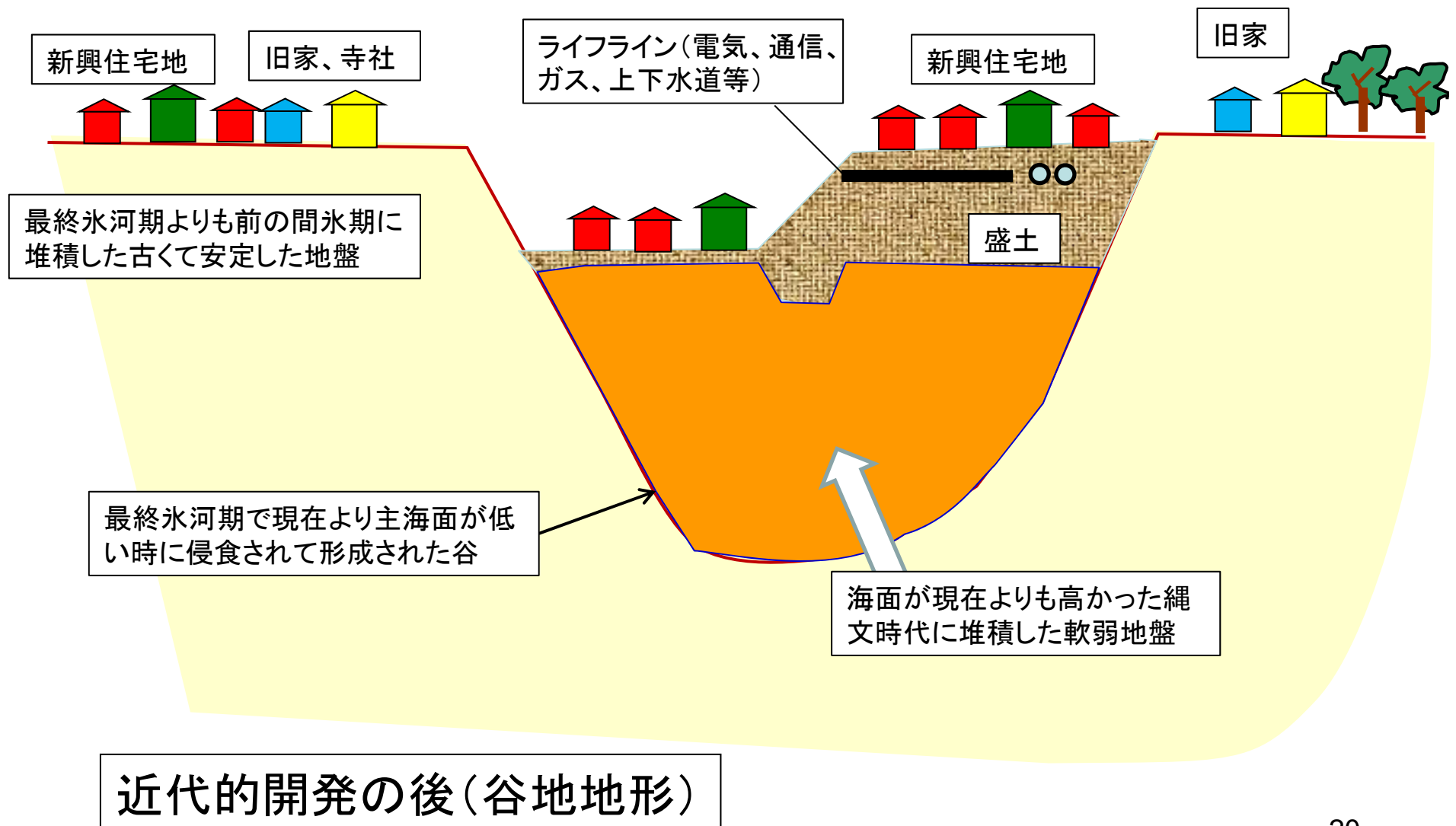
タイロッド(tie rod):
矢板の頭部に固定する
盛土底面が広がるのを防ぐことにより
盛土の耐震性安定性を高める

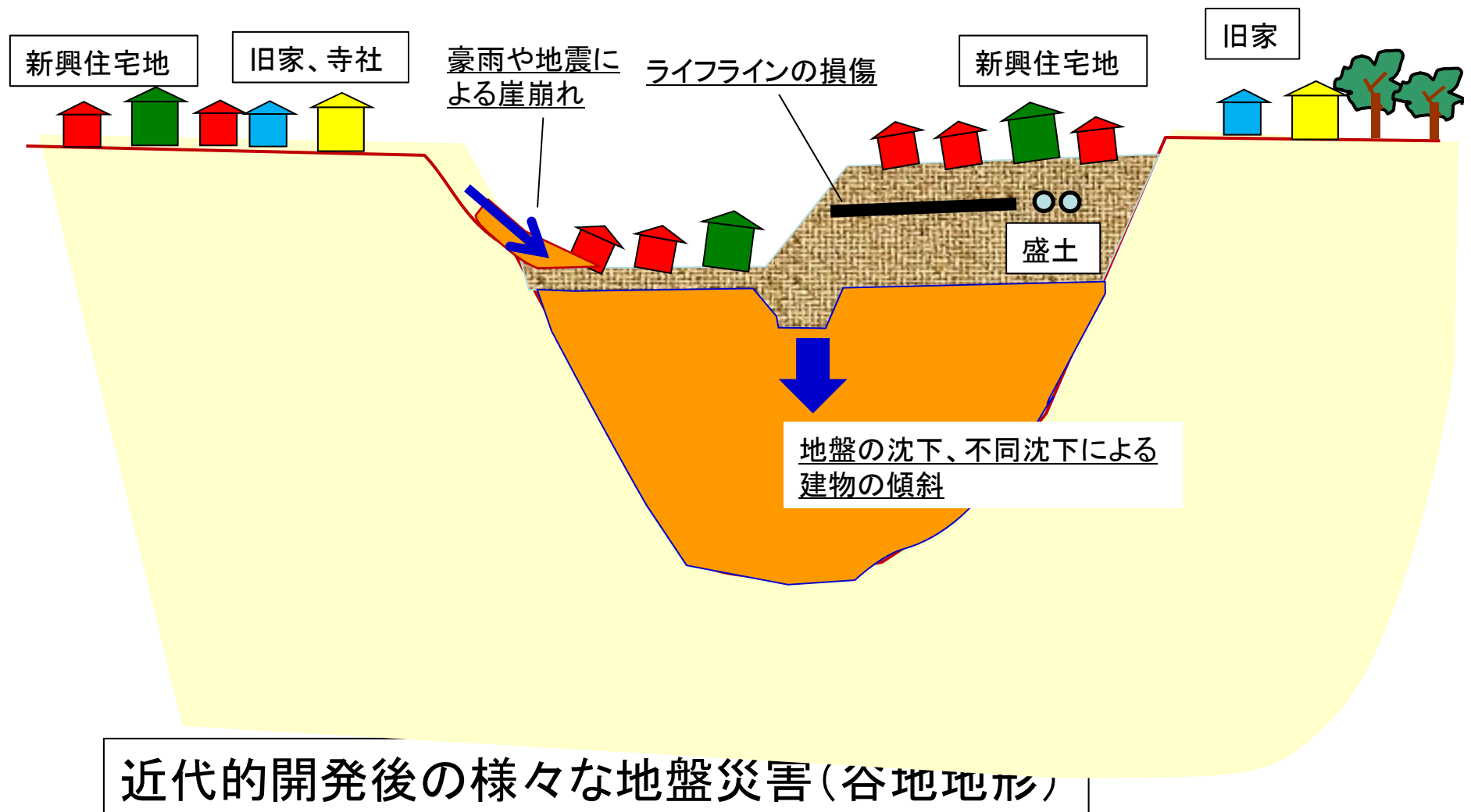
道路鉄道盛土

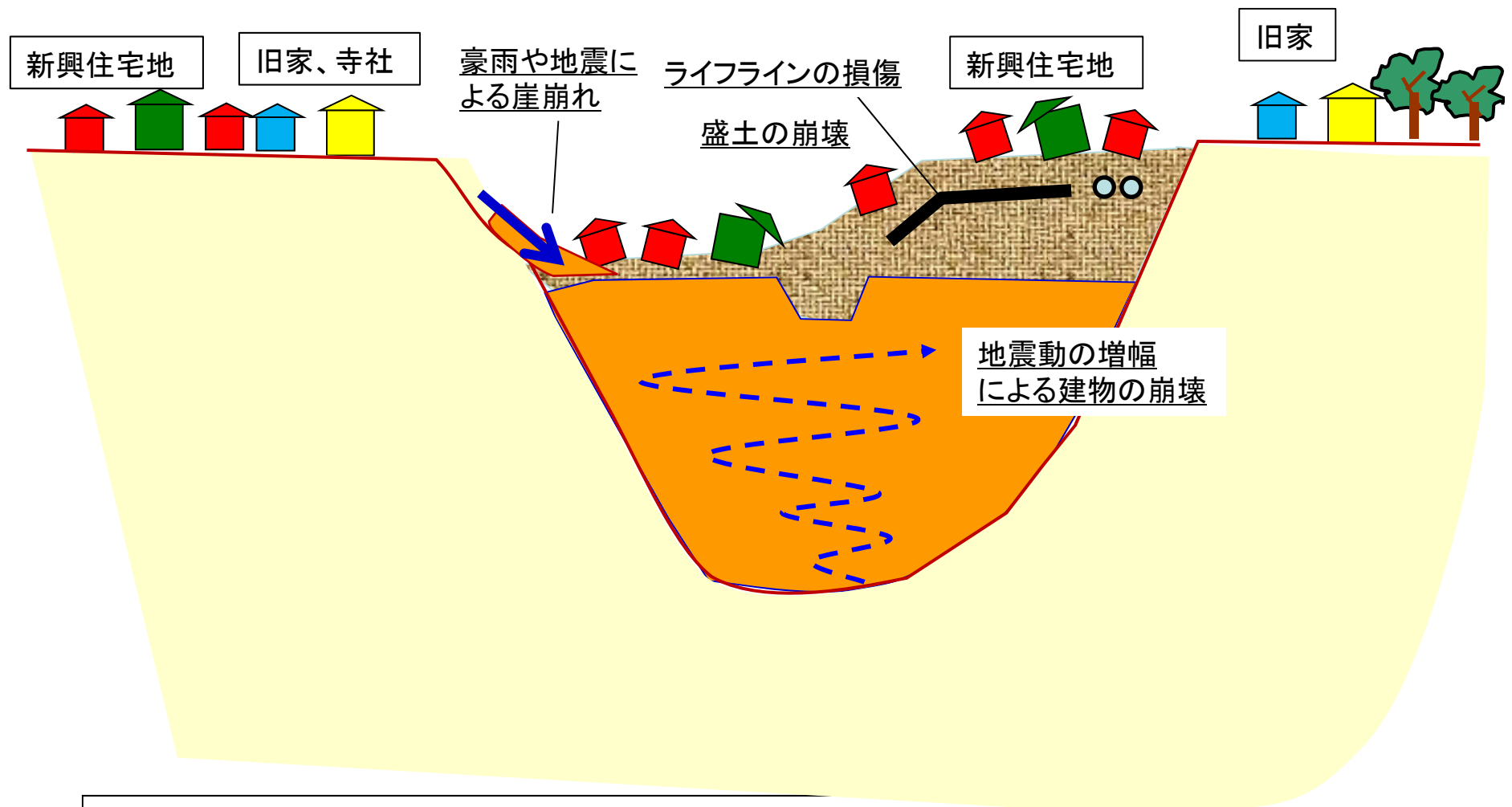
矢板(sheet pile)
盛土の支持地盤が側方に広がることを
防ぐことにより、盛土の耐震安定性を
高める(盛土支持地盤が液状化しやすい
場合に効果を発揮する)

化学的処理(薬液注入
等)による支持地盤の改
良強化(盛土支持地盤が
液状化しやすい場合に効
果を発揮する)

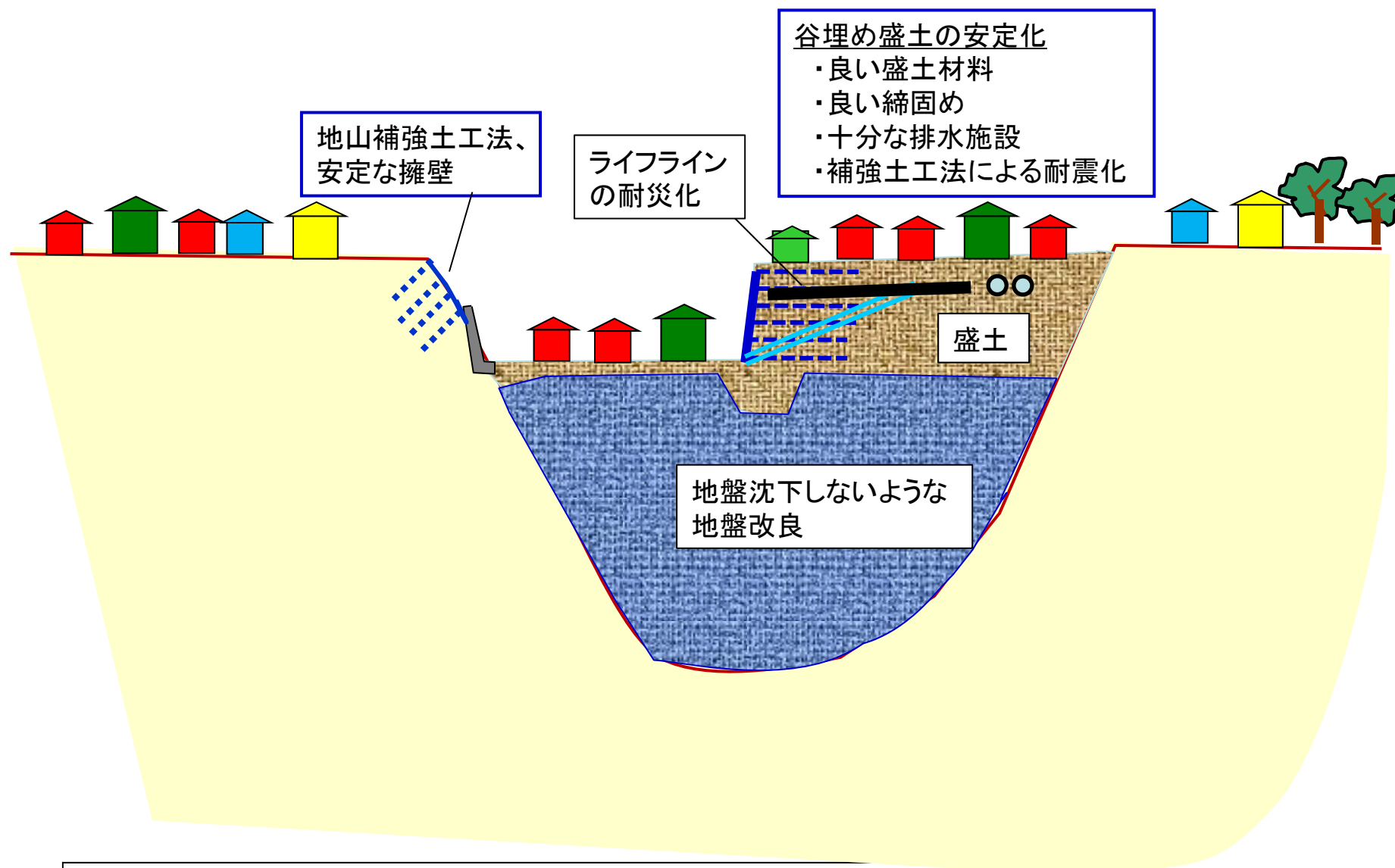




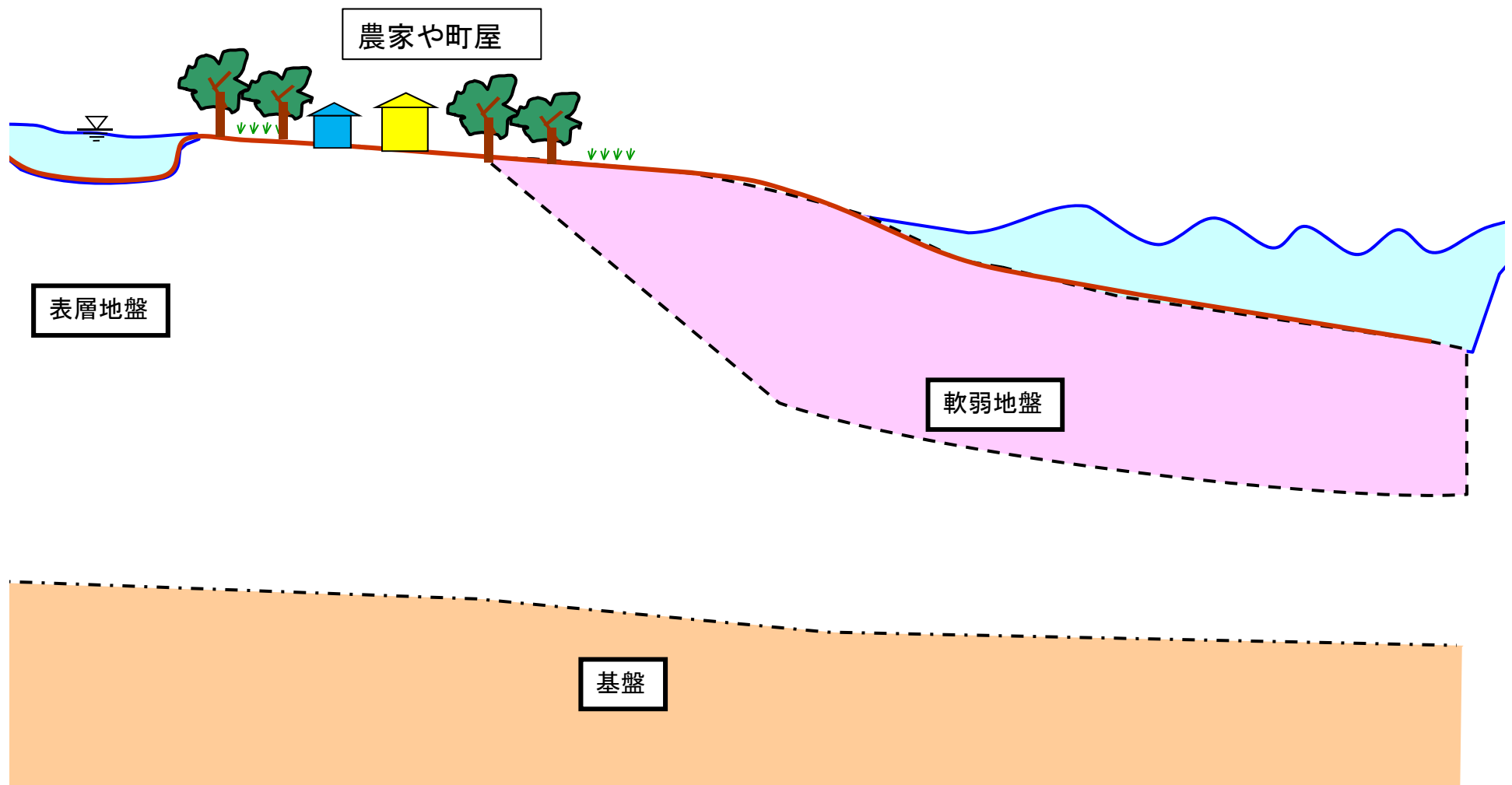




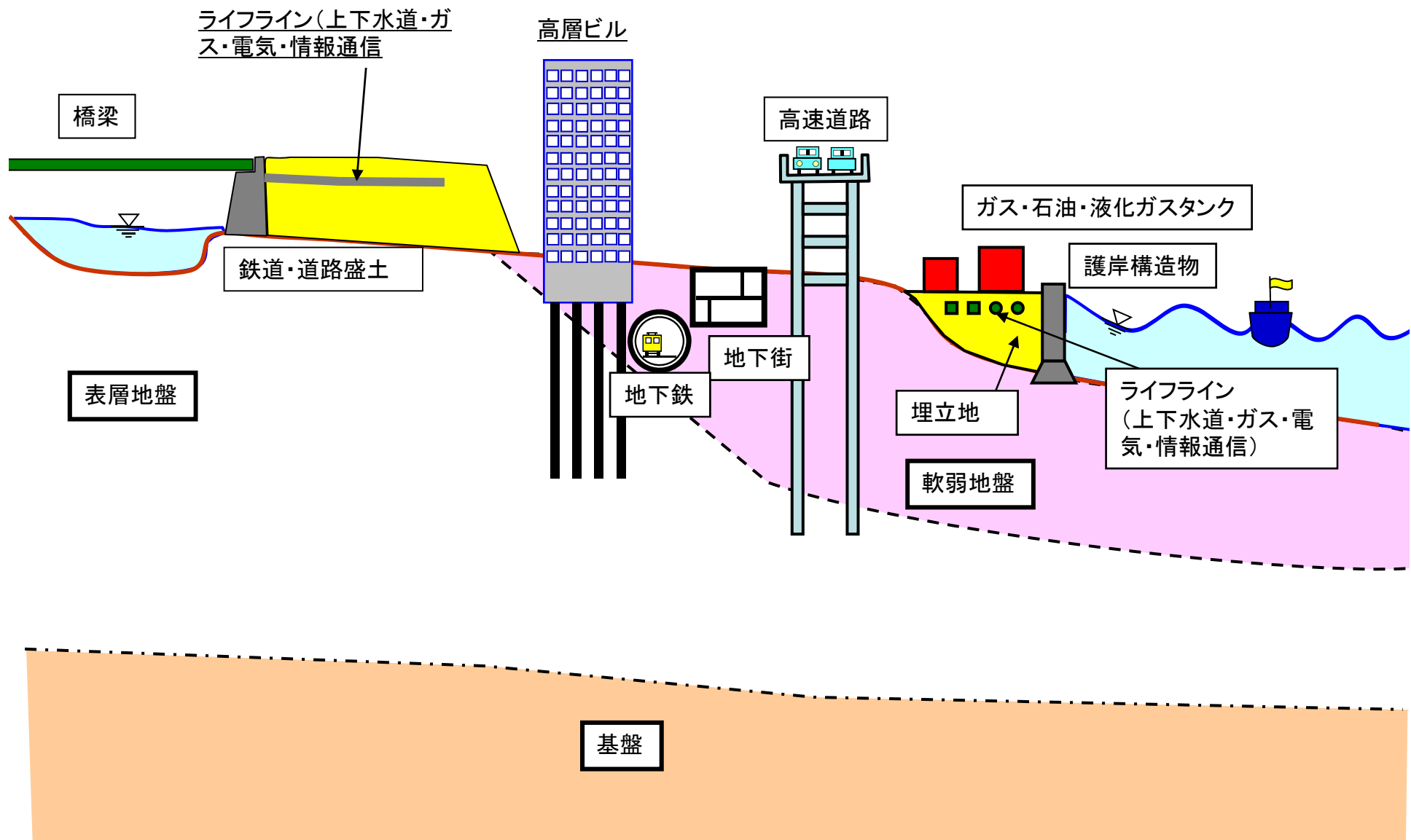
近代的開発の後での様々な地盤災害(谷地地形)



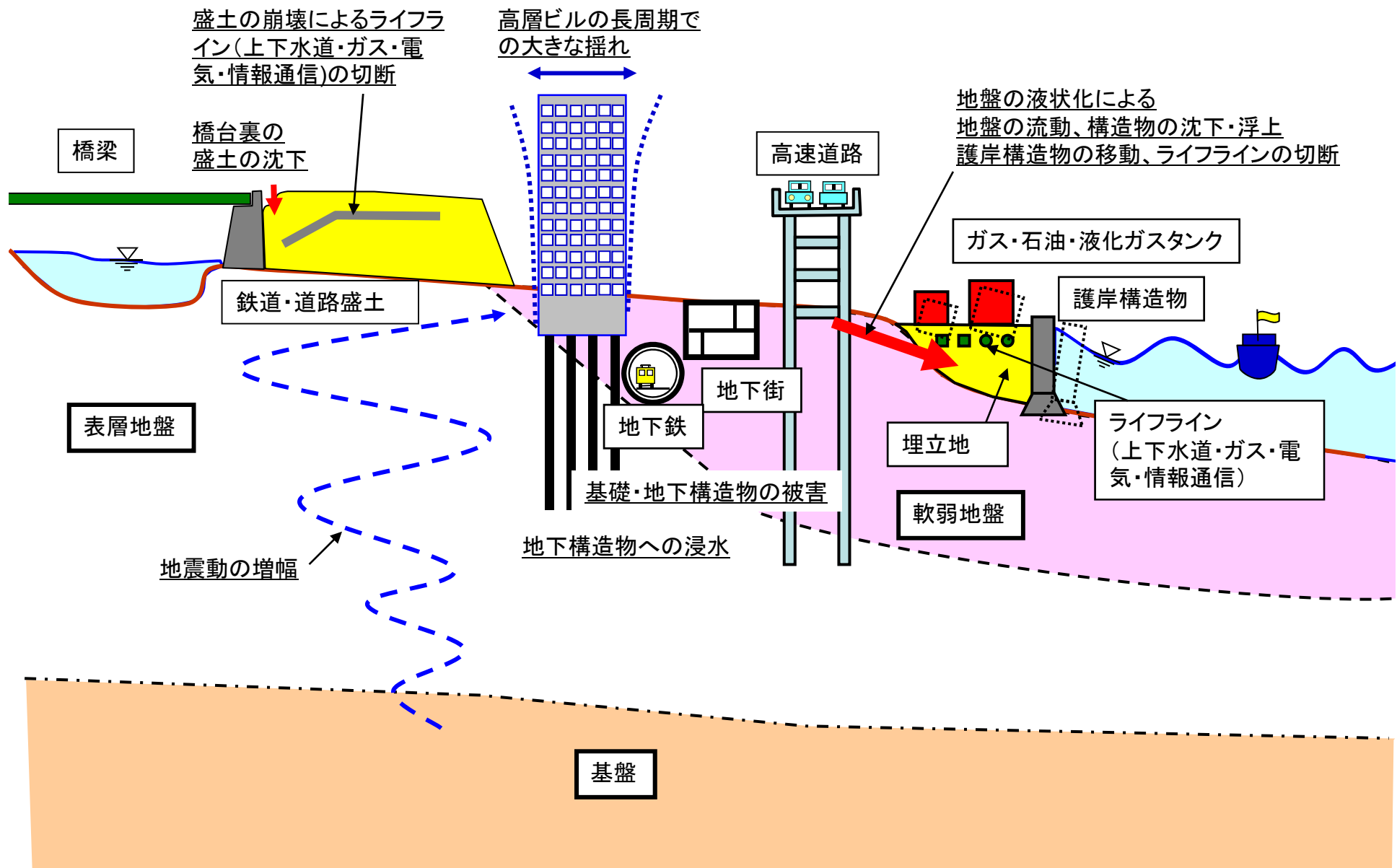
被害を防ぐための近代的技術(谷地地形)



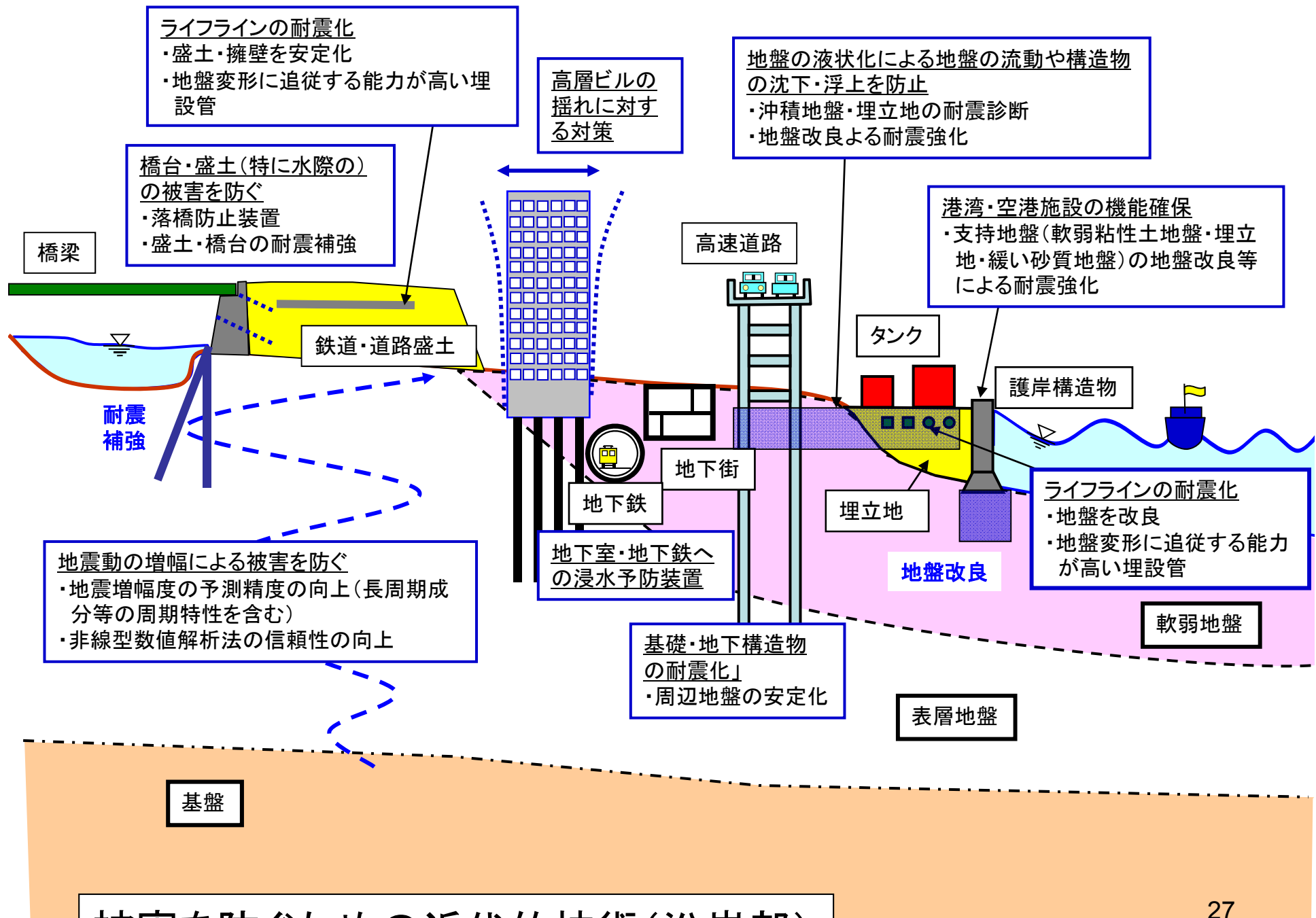
近代的開発の前(沿岸部)



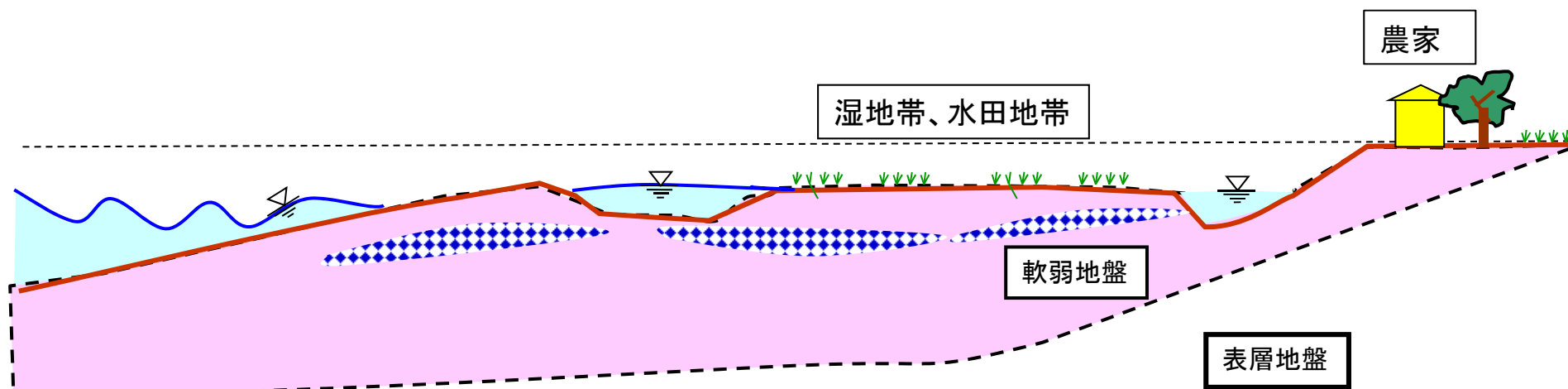
近代的開発の後 (沿岸部)



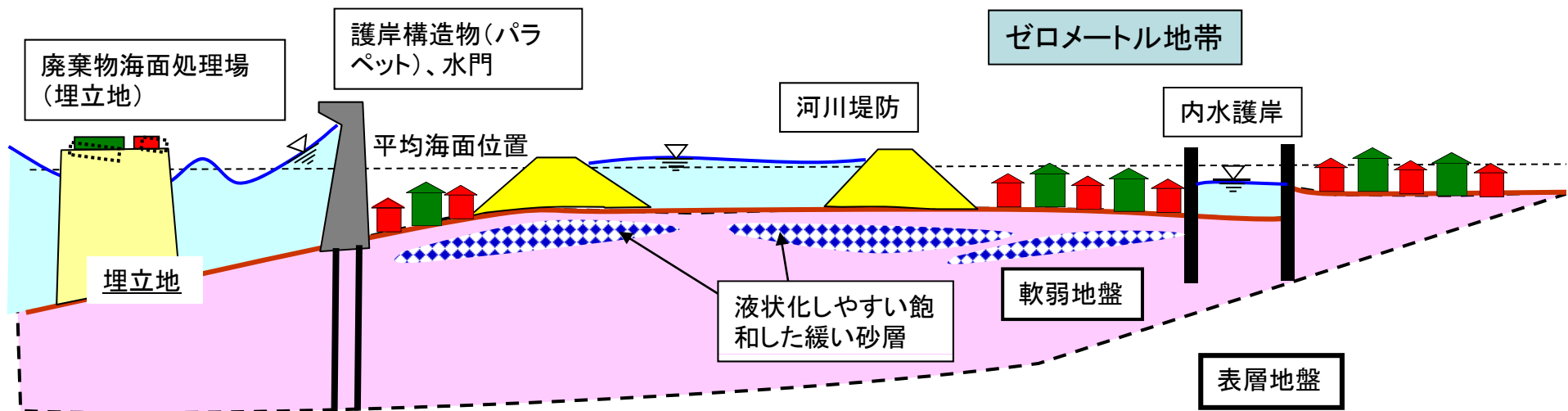
近代的開発の後での様々な地盤災害(沿岸部)



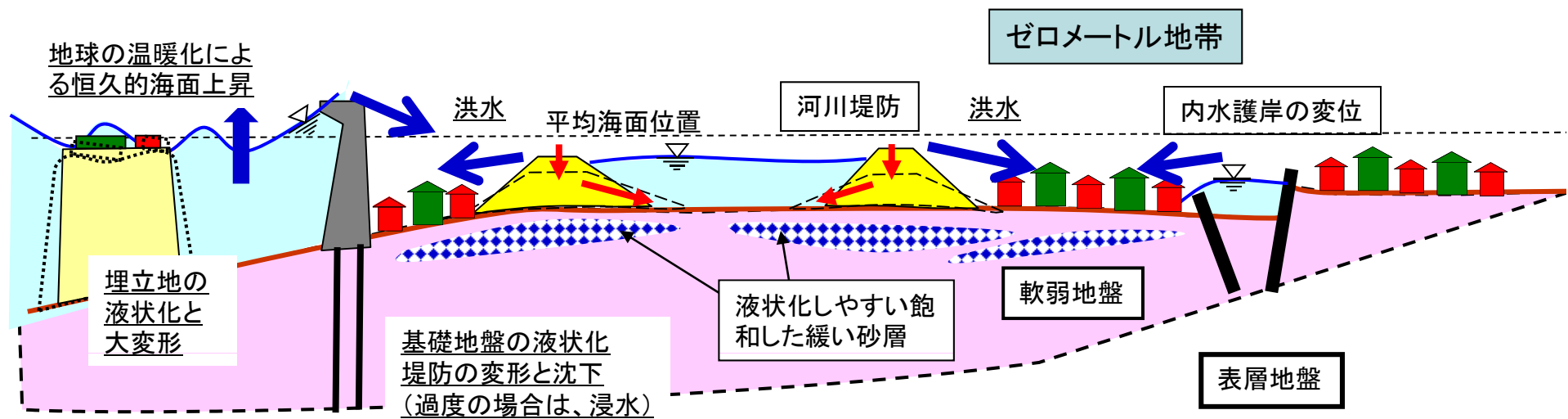
被害を防ぐための近代的技術(沿岸部)



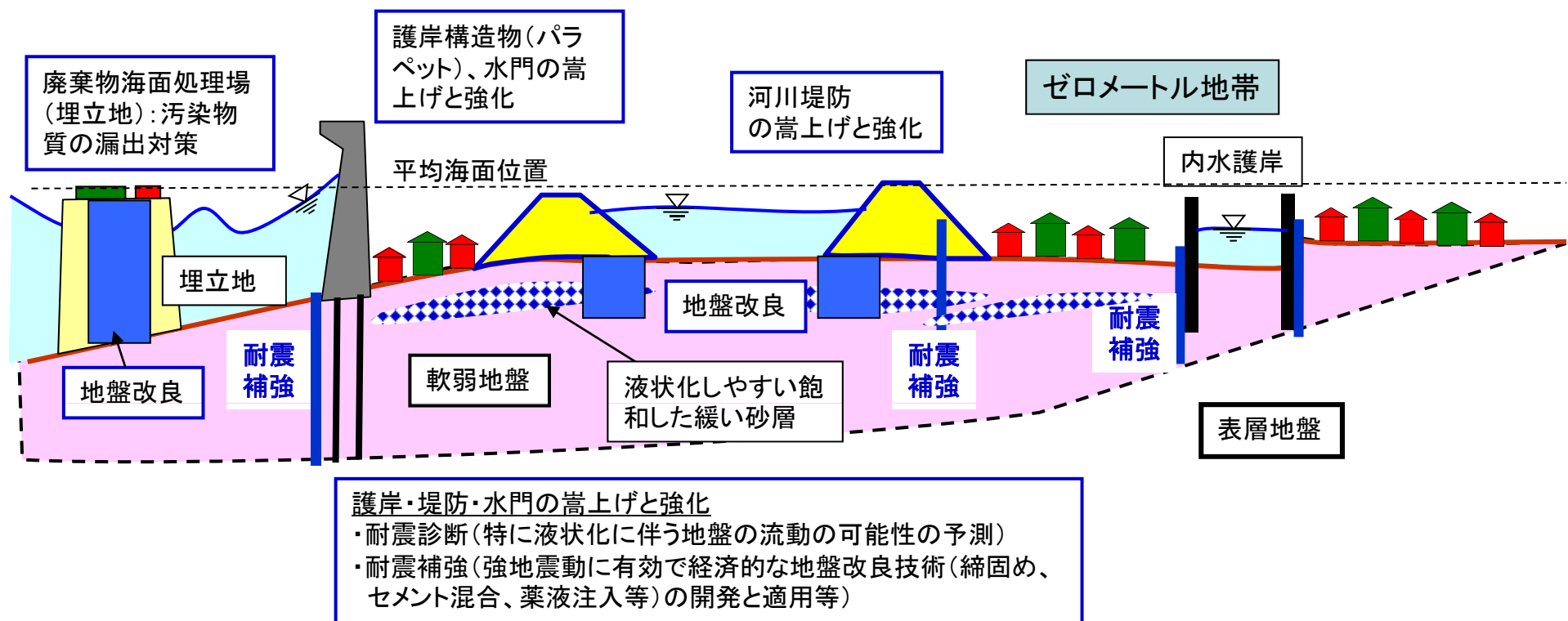
近代的開発の前(低地)



近代的開発の後(低地、既に地盤沈下が生じた後)



近代的開発の後での様々な地盤災害(低地部)



被害を防ぐための近代的技術(低地部)

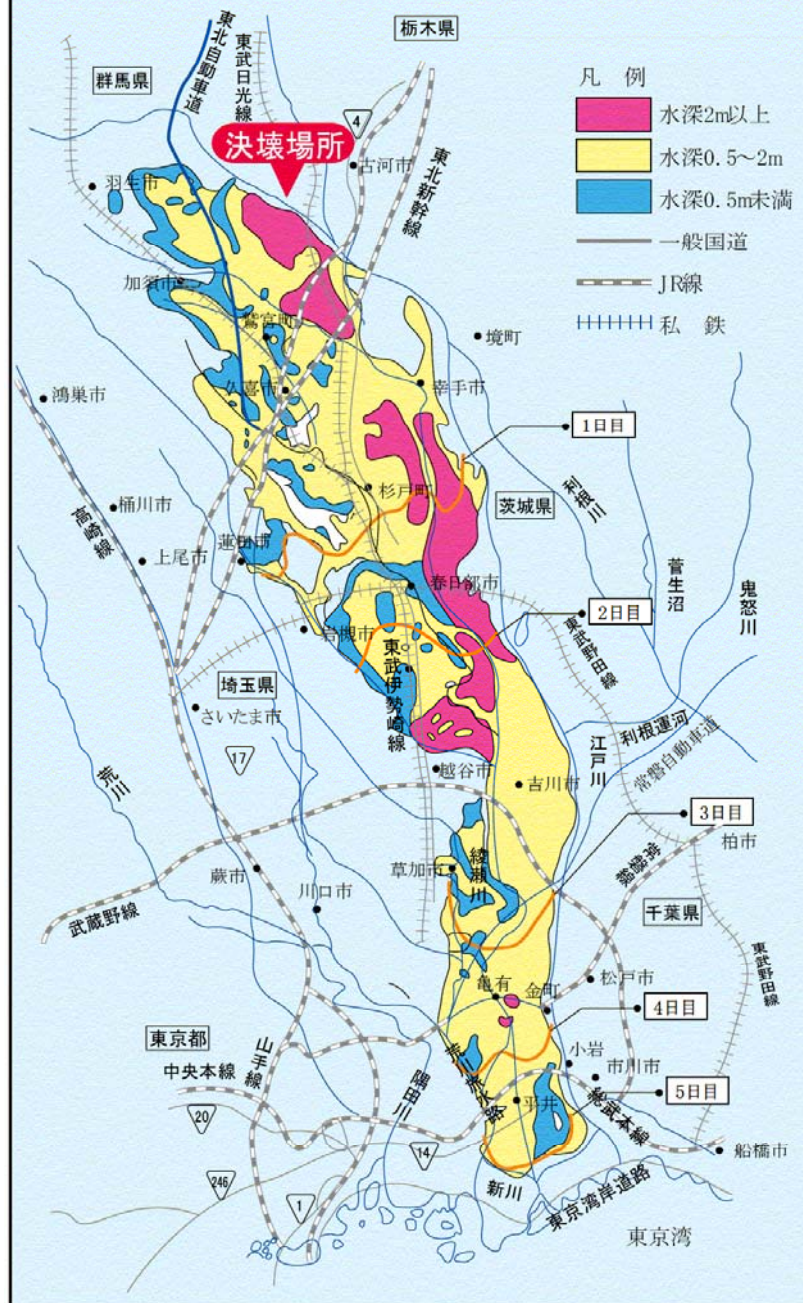


60年掛けた土木工事
承応三年(1654年)完成

新利根川

江戸川

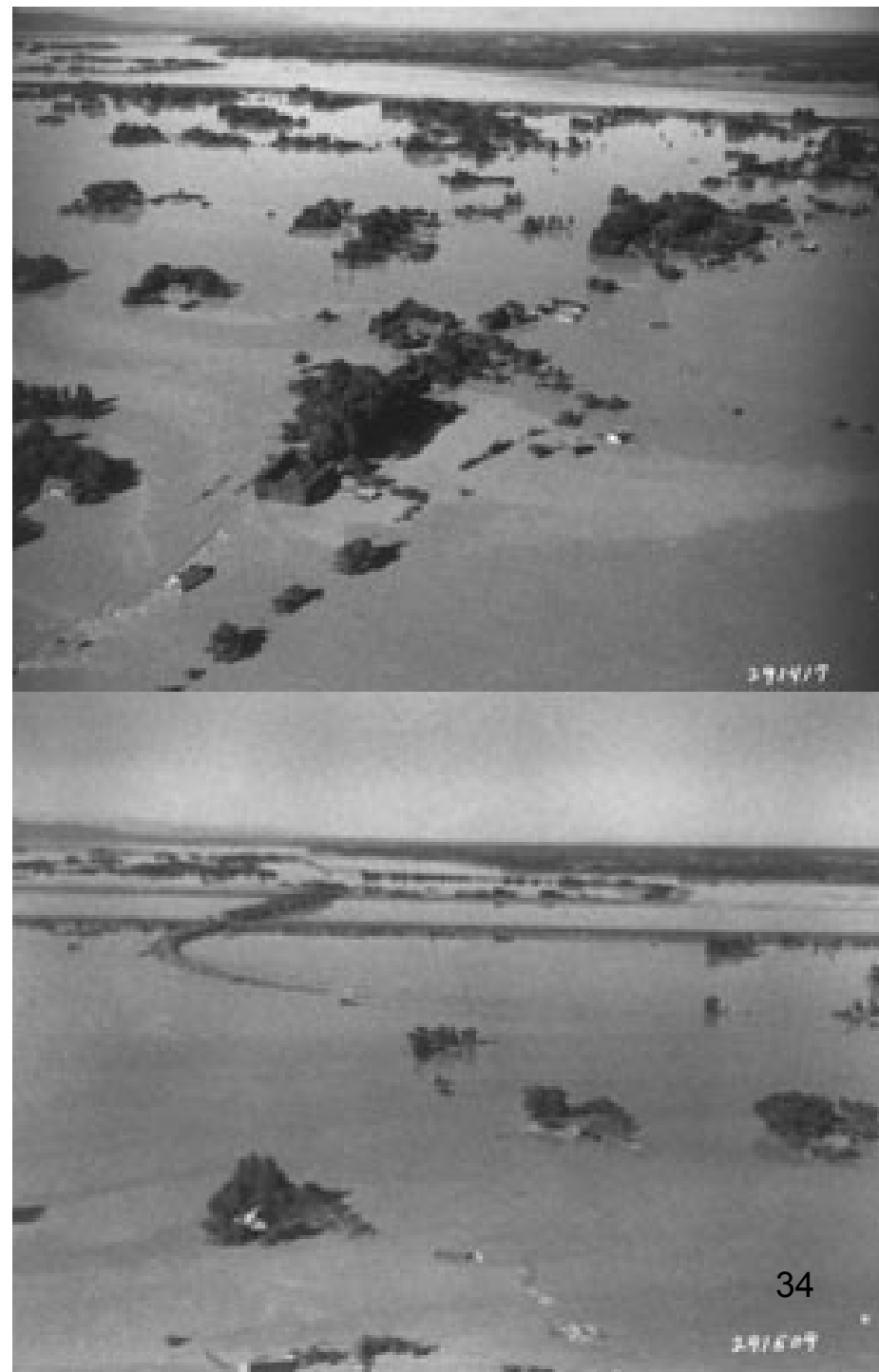
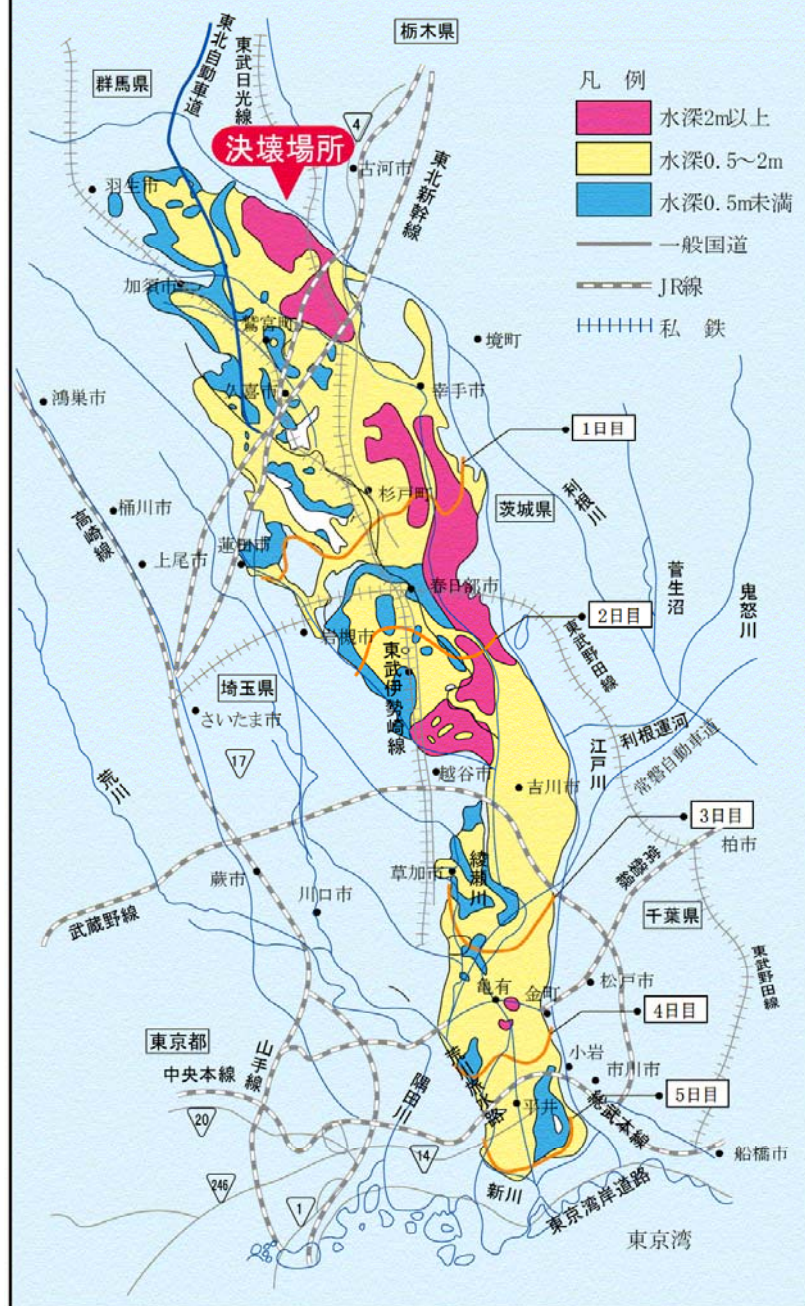
昭和22年洪水氾濫実績



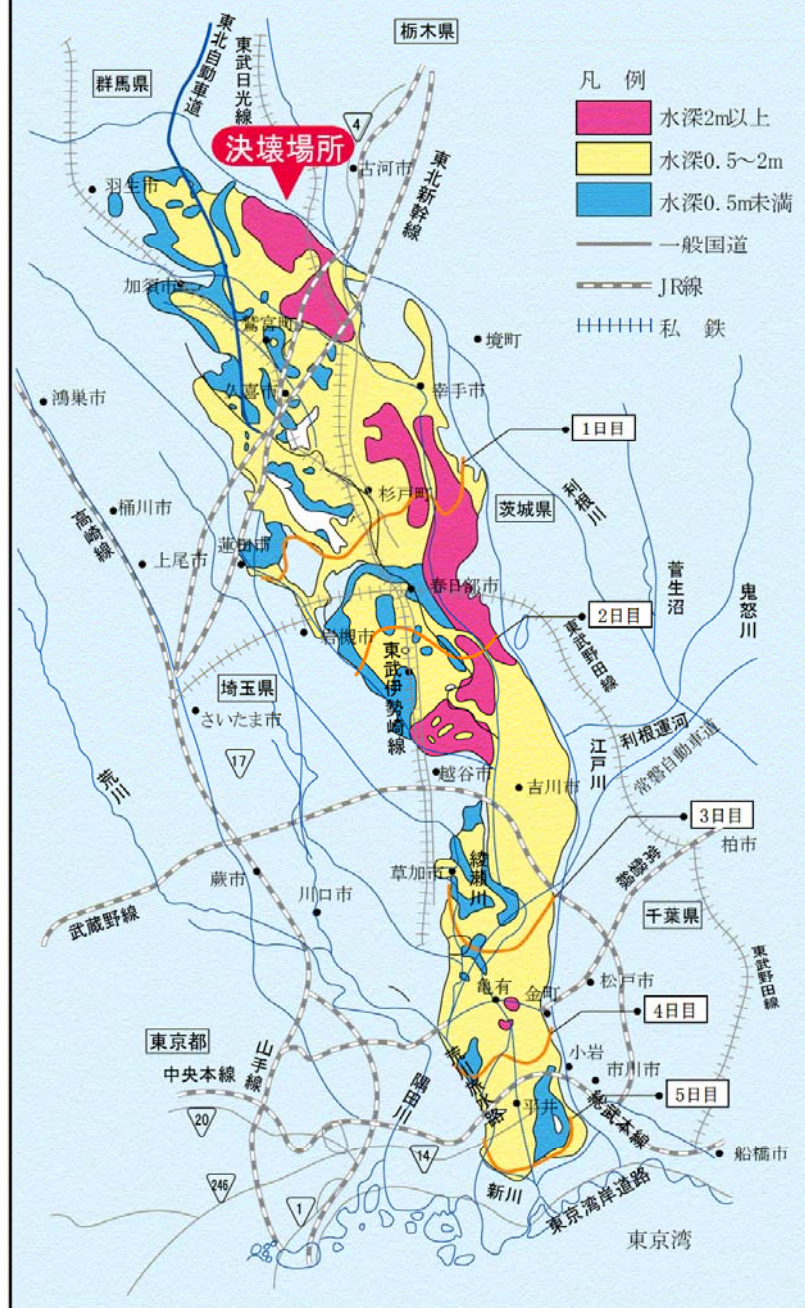
カスリーン台風： 1947.9.15-17,
利根川本流・栗橋(埼玉県)で堤
防決壊。東京下町の低地が大被
害発生。



昭和22年洪水氾濫実績

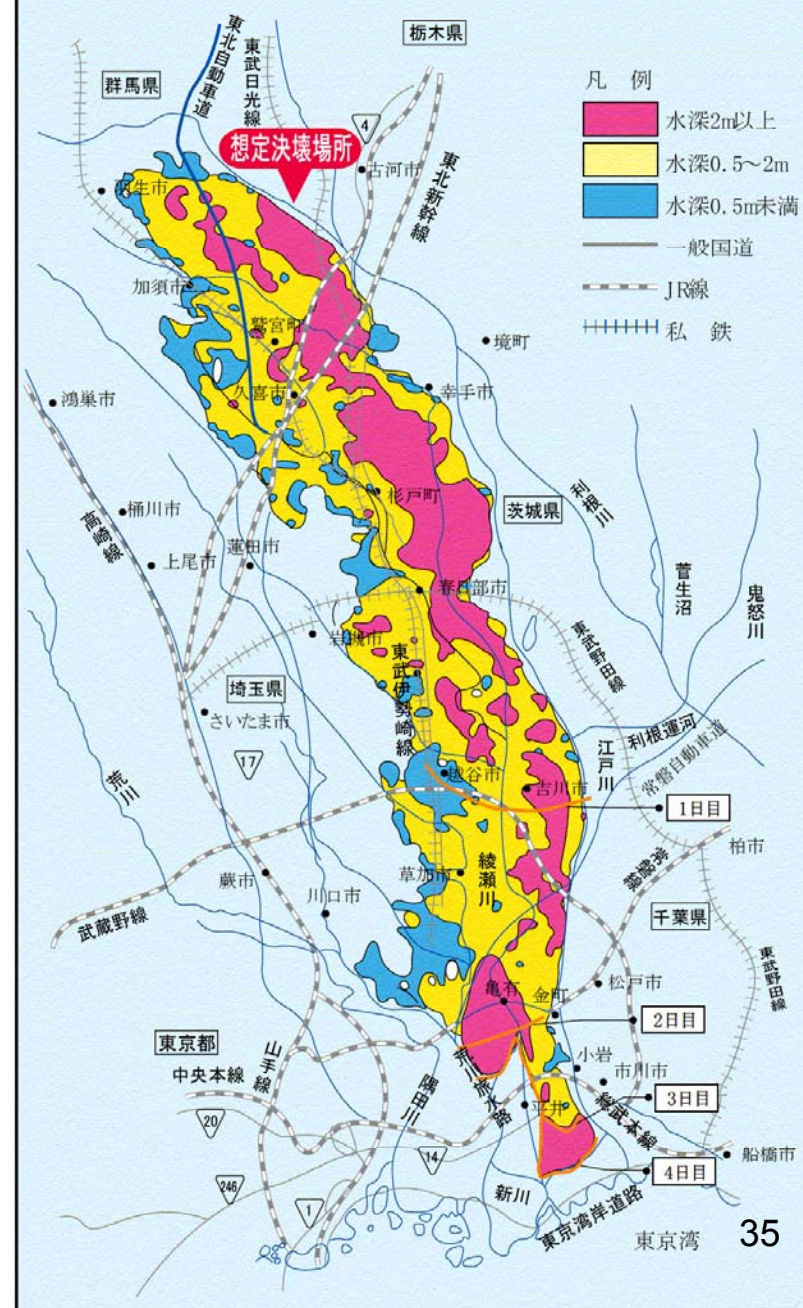


昭和22年洪水氾濫実績

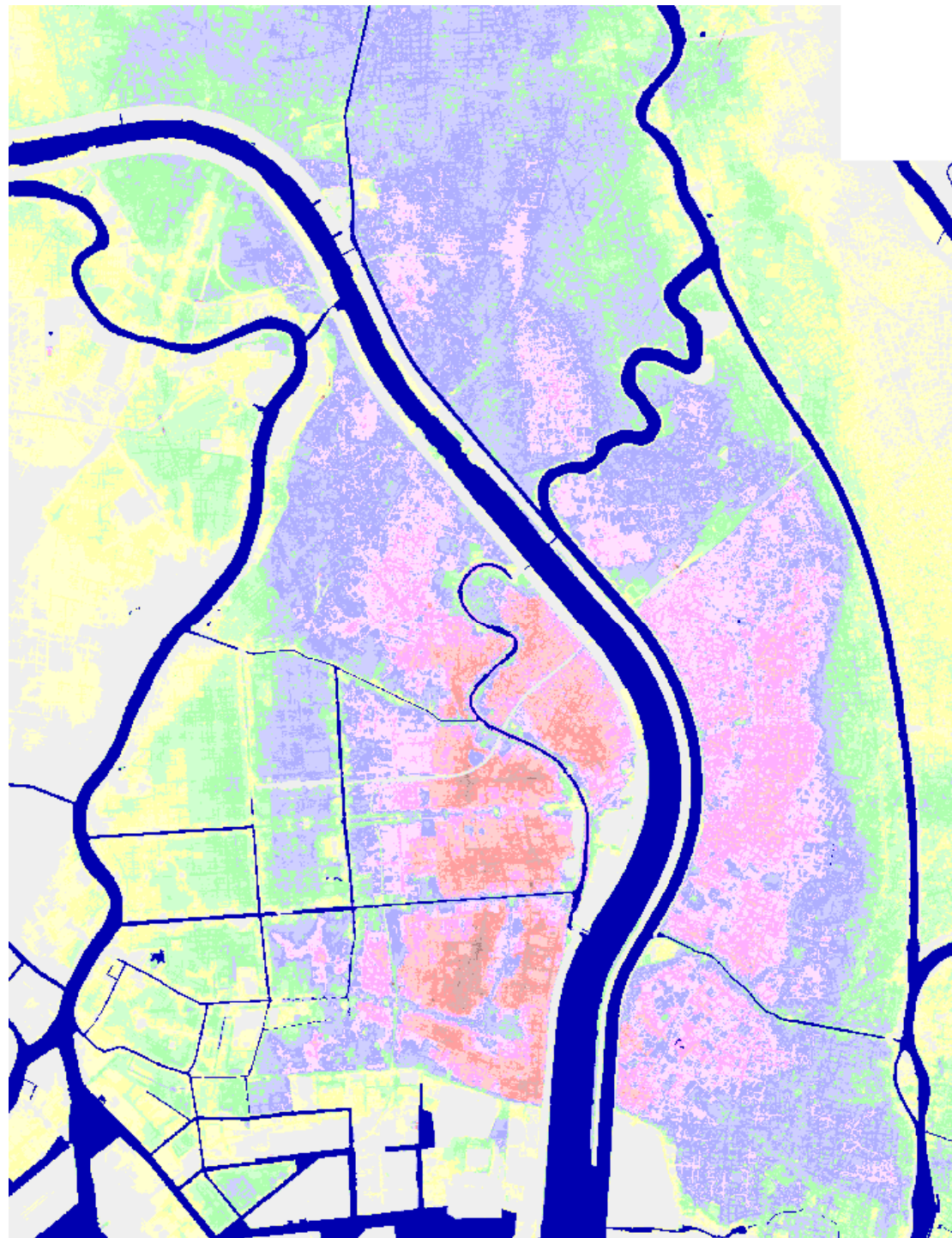


現況氾濫計算

なぜ、水没深度が増加？

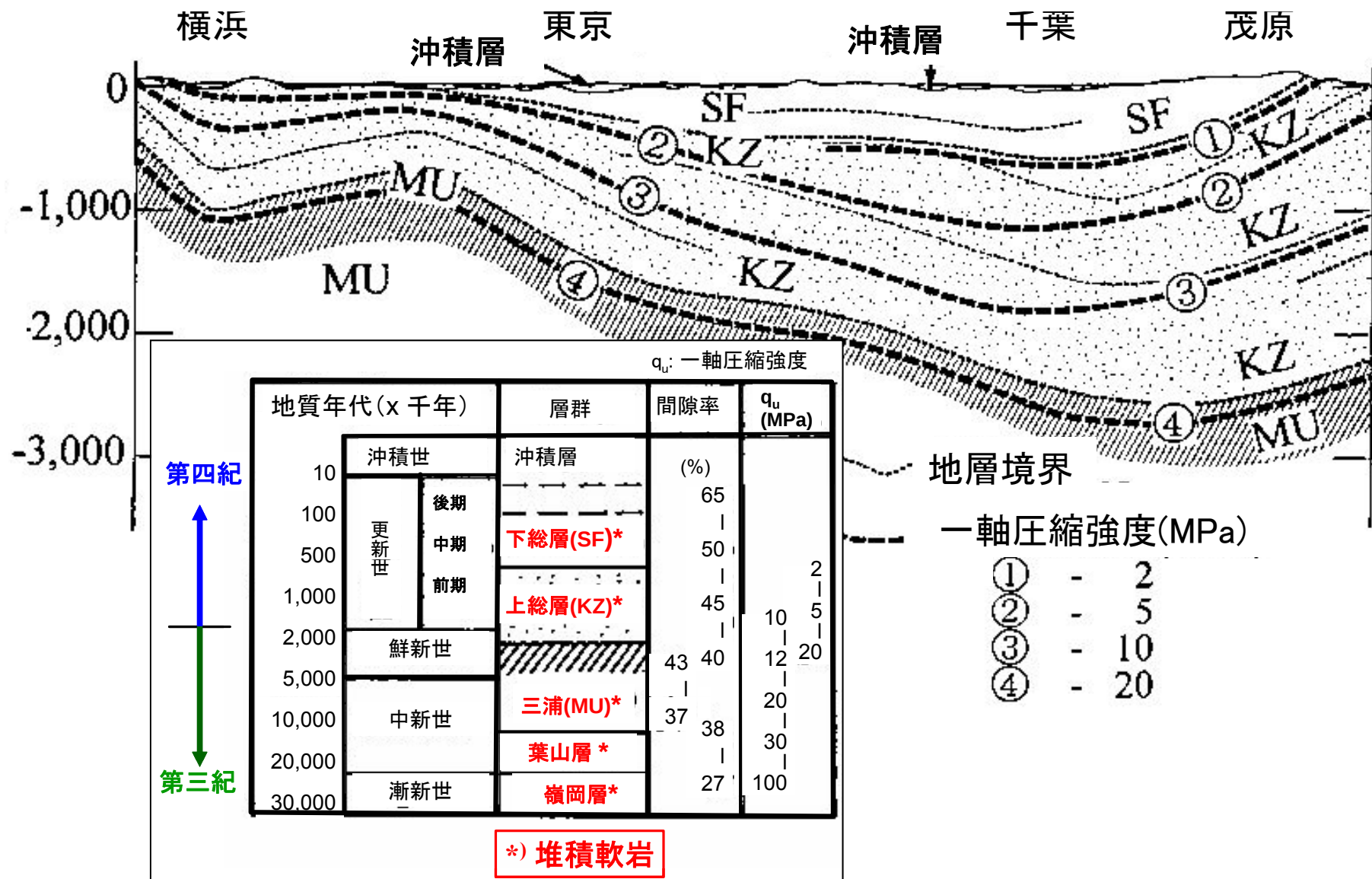


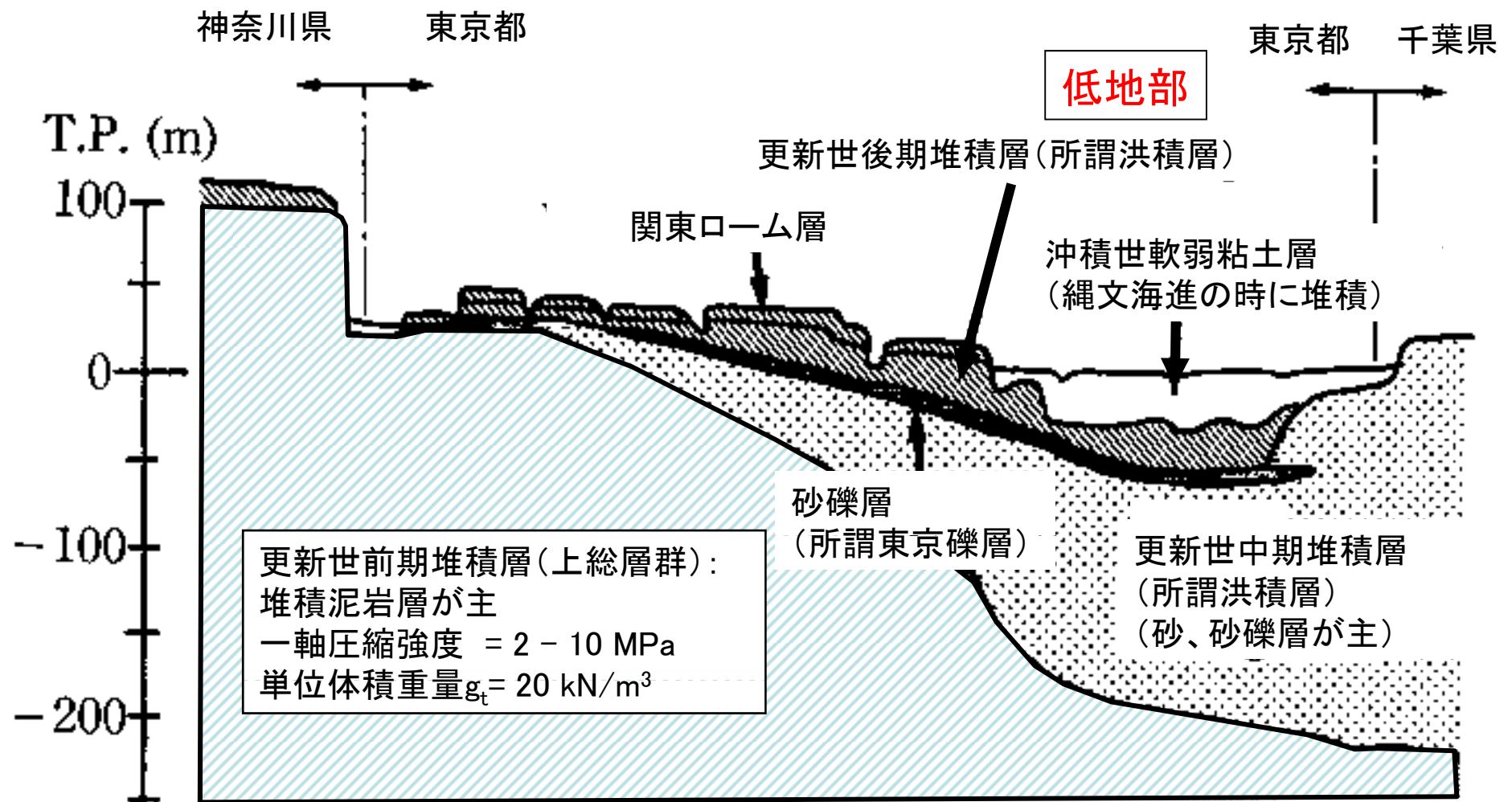
東部低地標高 (T.P.)



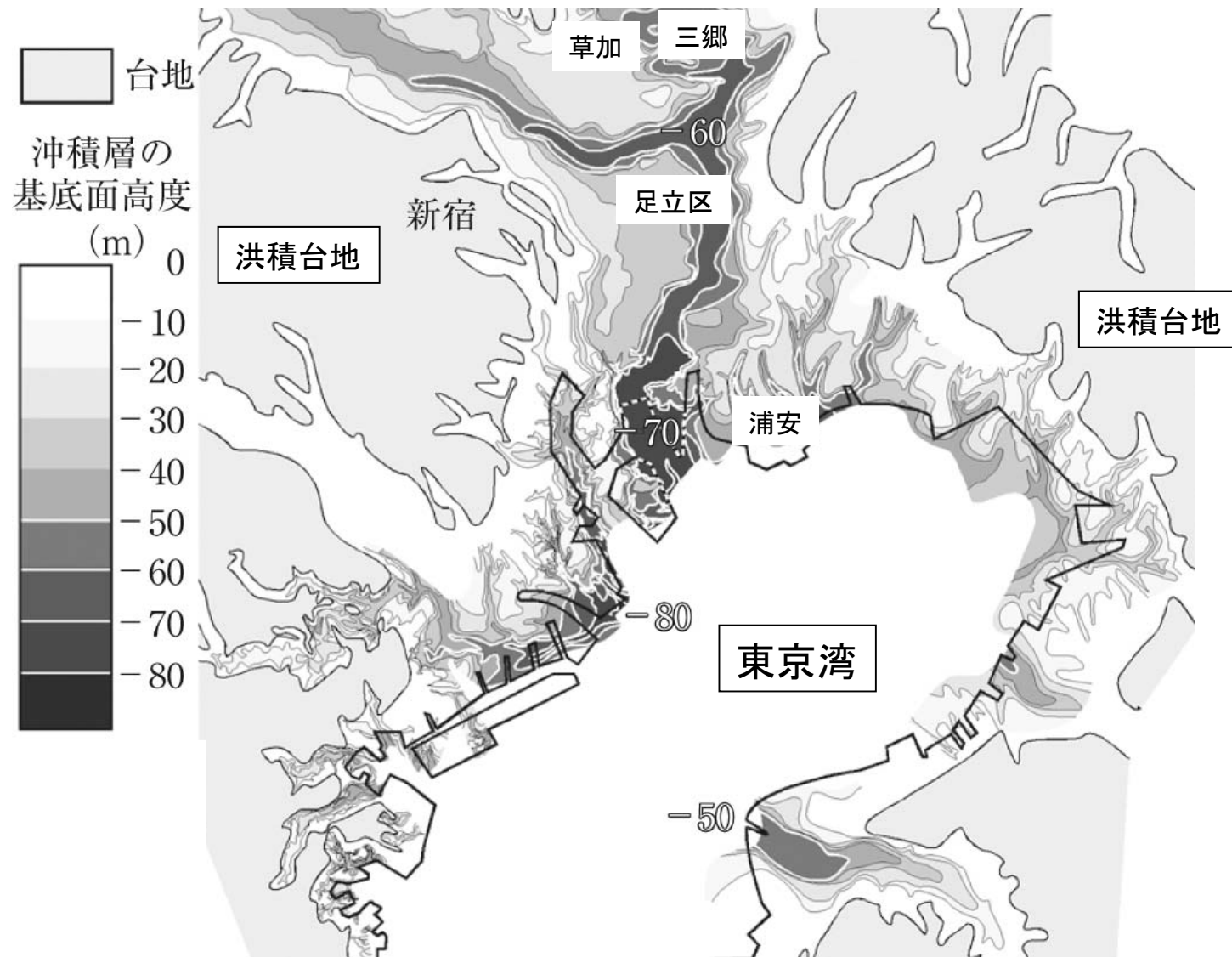
水部				
	~	-3.5	(m)	
-3.5	~	-3.0	(m)	
-3.0	~	-2.5	(m)	
-2.5	~	-2.0	(m)	
-2.0	~	-1.5	(m)	
-1.5	~	-1.0	(m)	
-1.0	~	-0.5	(m)	
-0.5	~	0	(m)	
0	~	0.5	(m)	
0.5	~	1.0	(m)	
1.0	~	1.5	(m)	
1.5	~	2.0	(m)	
2.0	~			

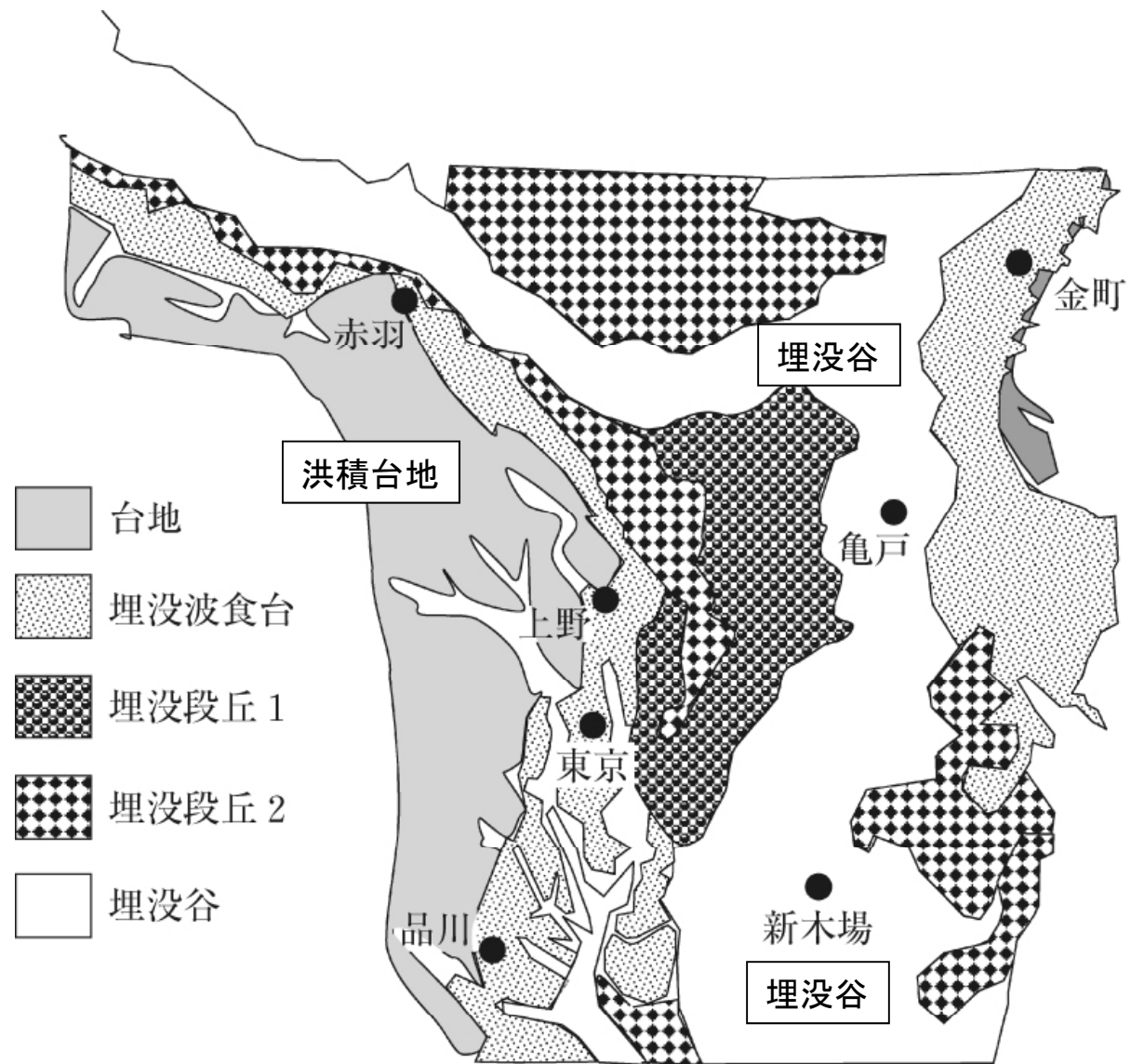
なぜ、海面下より低い地域
が広いのか？
どこがゼロメートル地帯か？

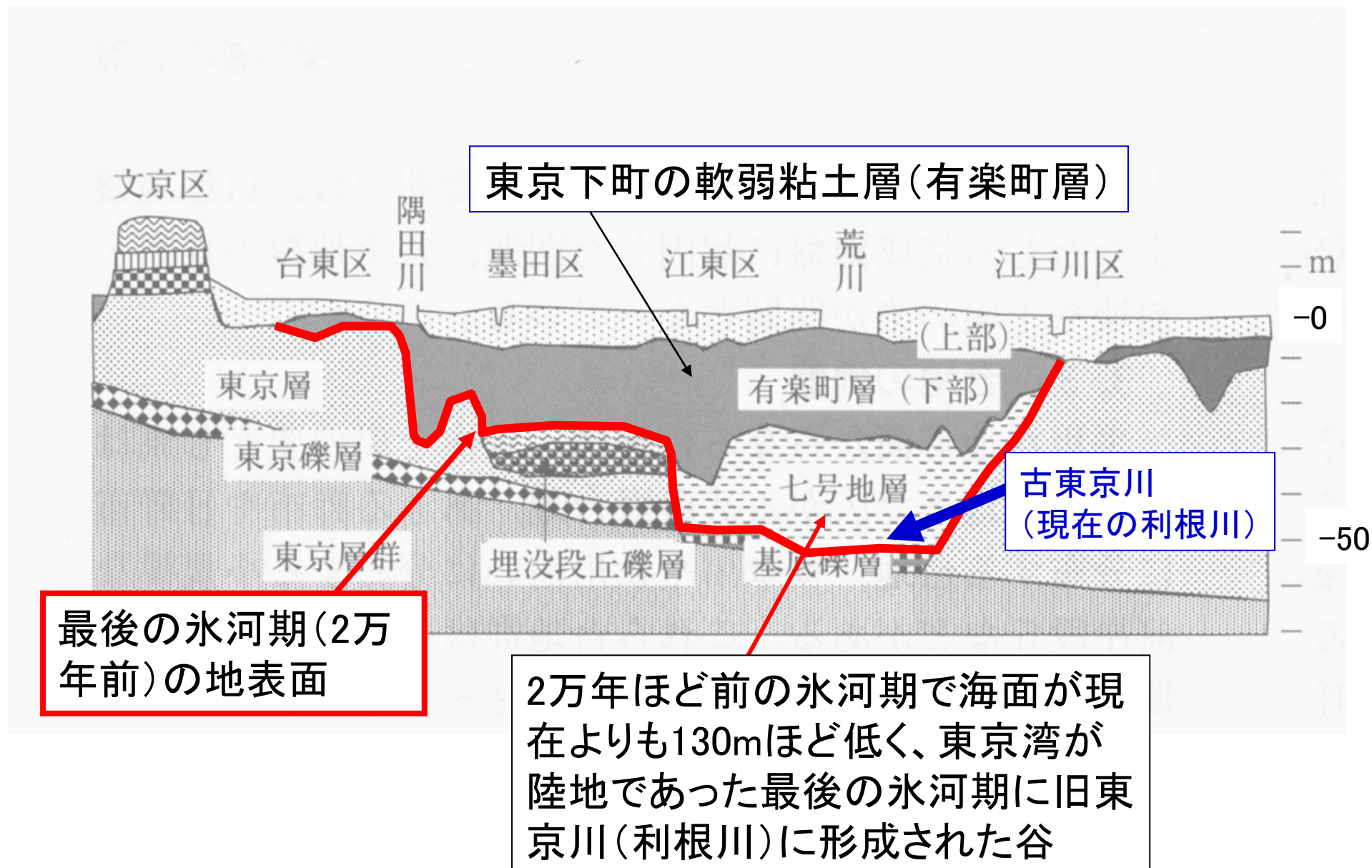




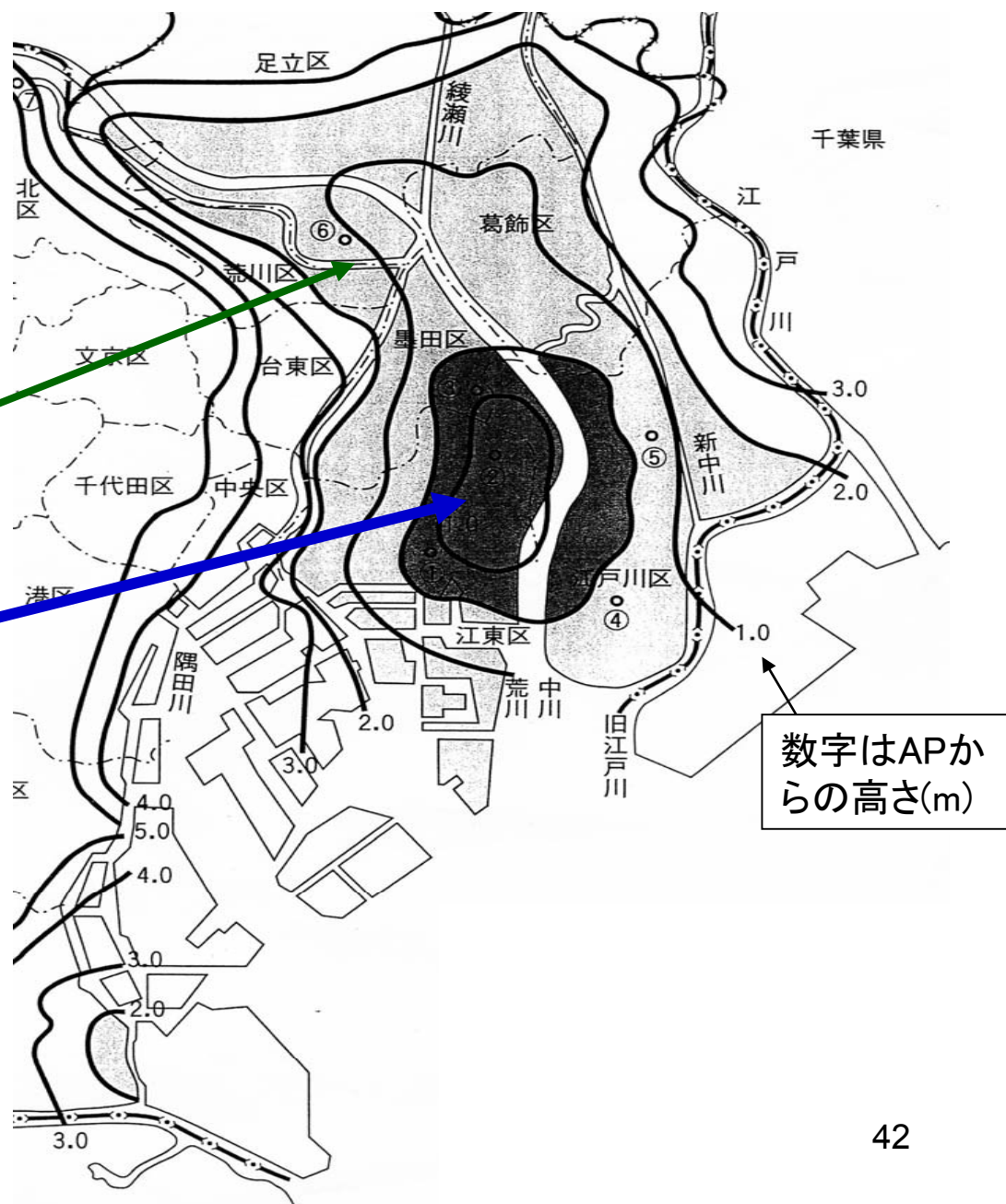
東京湾は沈み続けている







東京低地の地質断面図

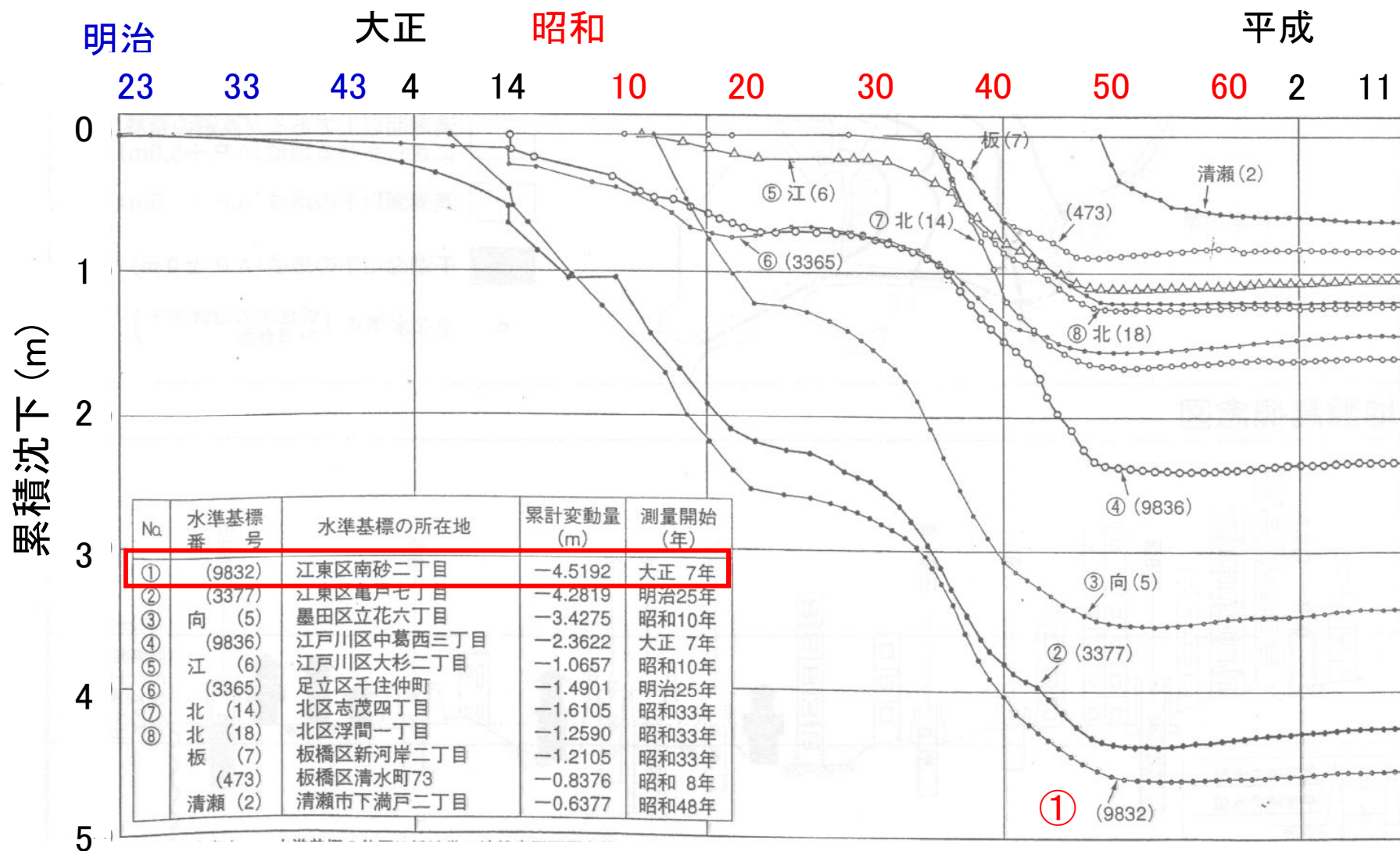


満潮時に海面以下

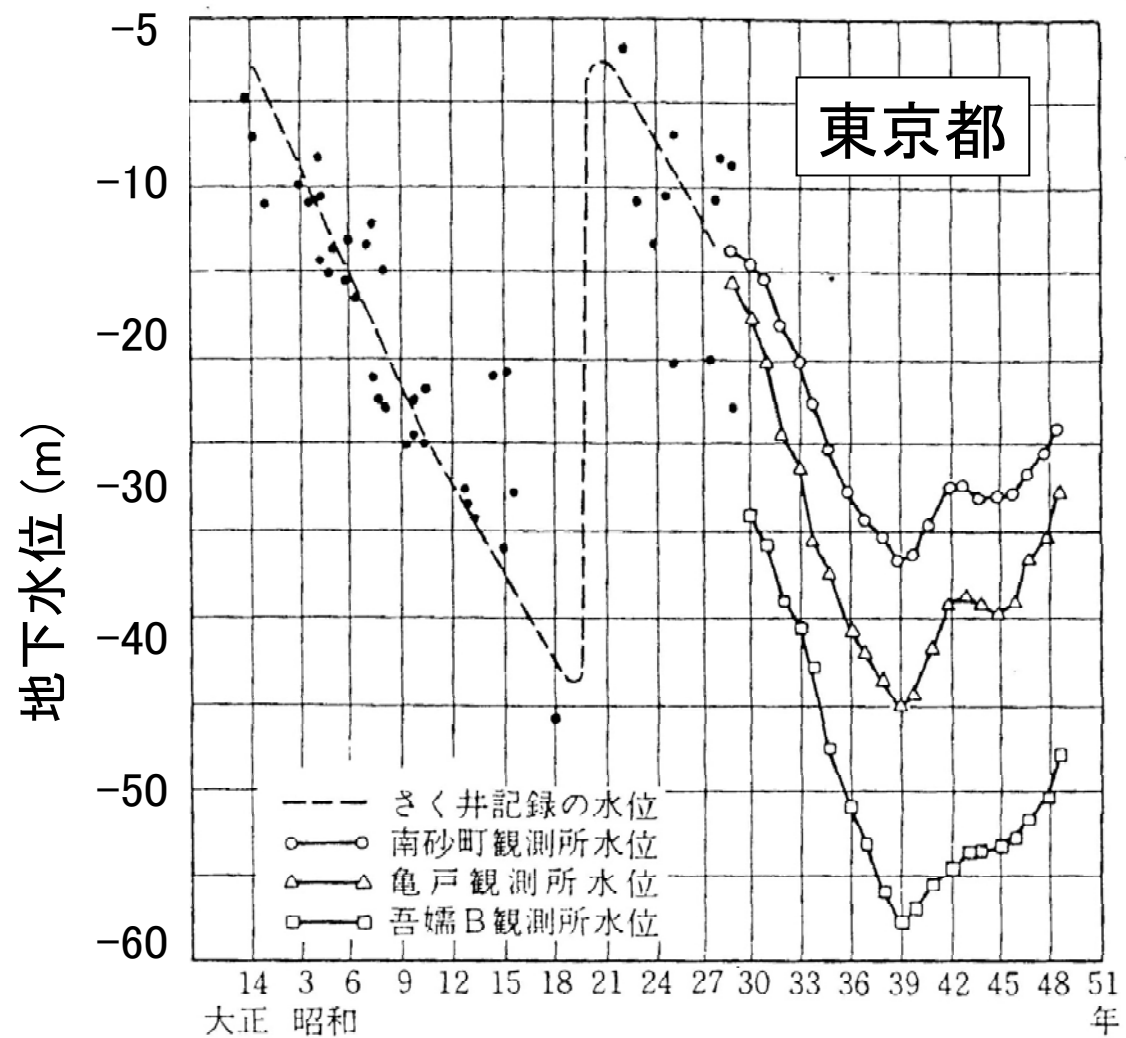
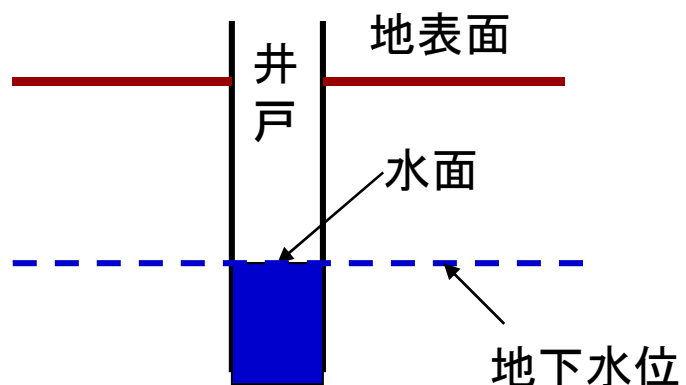
干潮時も海面以下

東京都におけゼロメートル地帯(AP:荒川河口平均潮位)(東京都ホームページから)

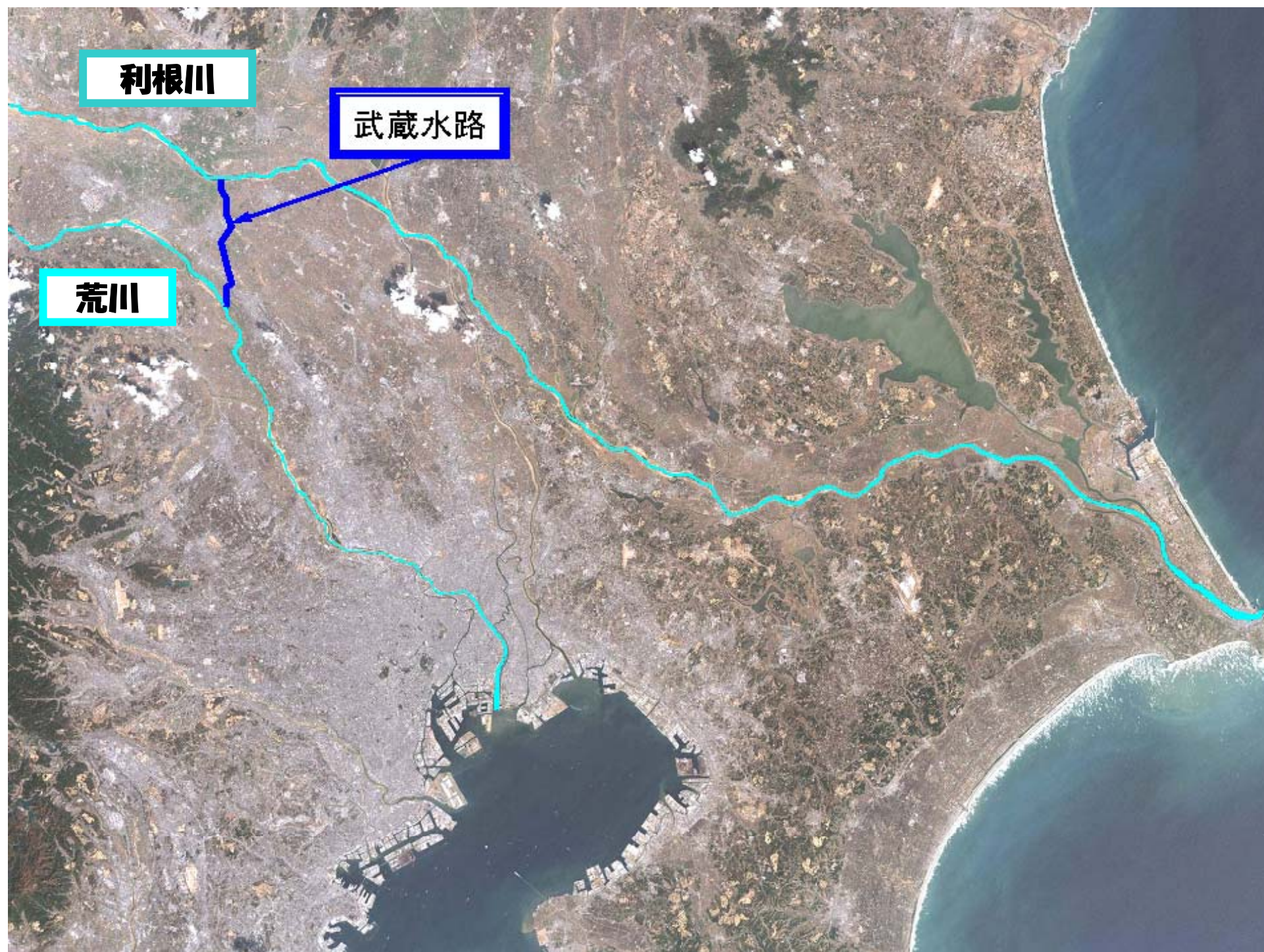
■主要水準基標の累計変動量



東京下町での主要な点での地盤の累積沈下量(主要水準基標の累積変動量、東京都土木技術センターによる)



東京都江東地区での地下水位の変動(東京都土木研究所による)



利根川

武蔵水路

荒川



1. 概論

1.1 地盤改良の重要性

1.2 地盤改良技術の例

1) 関西国際空港

- a) 沖積粘性土層：沈下を供用前に終了させておく(サンドドレイン、SCP等々とプレロード)
- b) 洪積粘土層：深く厚くて地盤改良が出来ない(大問題が残った)
- c) 埋め立て砂層：液状化防止(振動締固め等)

2) 東京湾横断道路

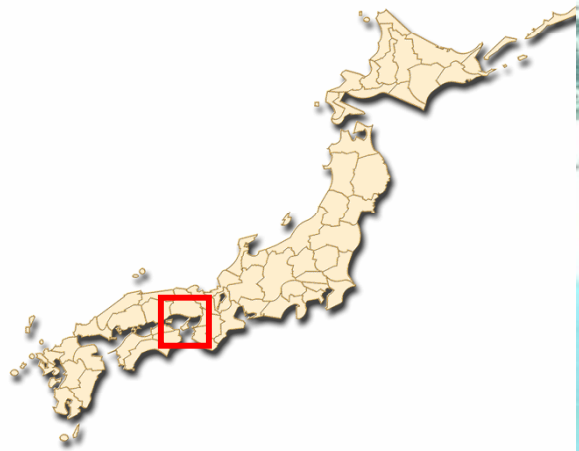
- a) 沖積粘性土層：安定と沈下防止(SCPと原位置セメント混合)
- b) 盛土：安定と変形防止(セメント混合土盛土)

3) 交通路の高架化、斜面に平地の創造：補強土工法

- a) 地山の急勾配化と安定：
- b) 補強土の擁壁

1.3 地盤改良工法の原理と分類

関西国際空港



建設中の関西国際空港(二期工事)

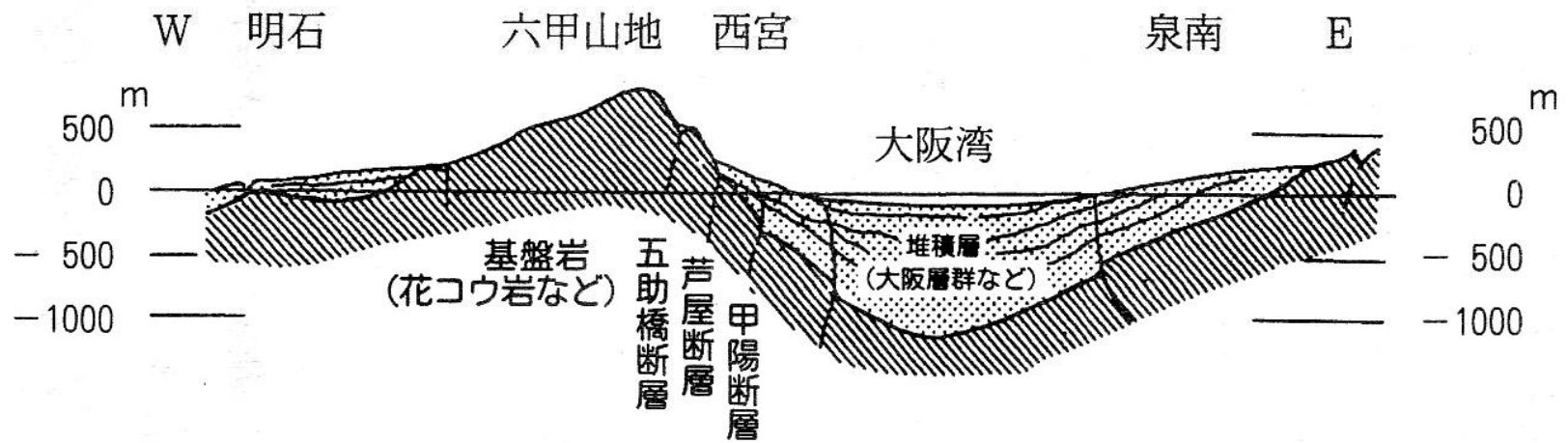




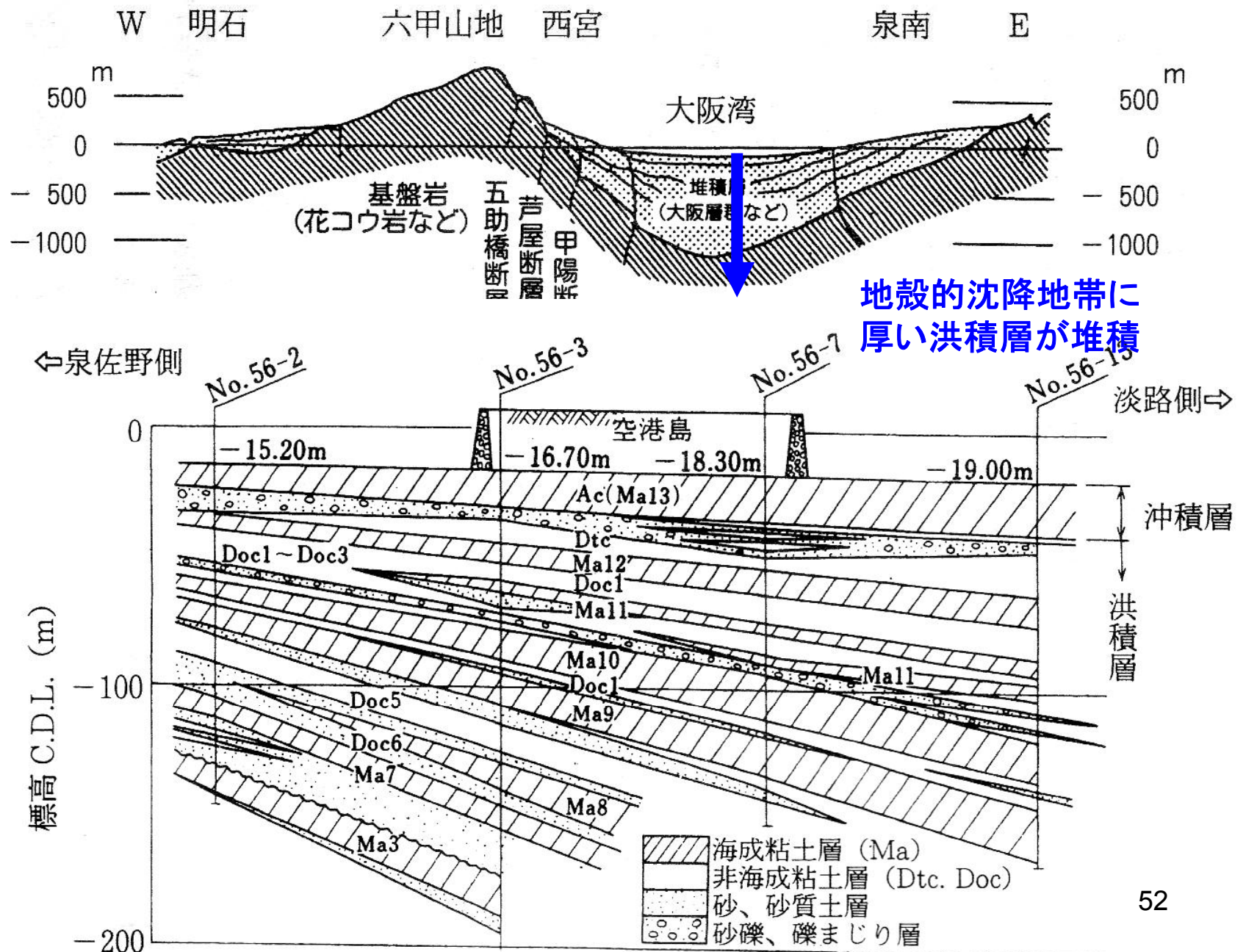
二期工事(平成16年3月19日撮影)

平成16年3月19日撮影

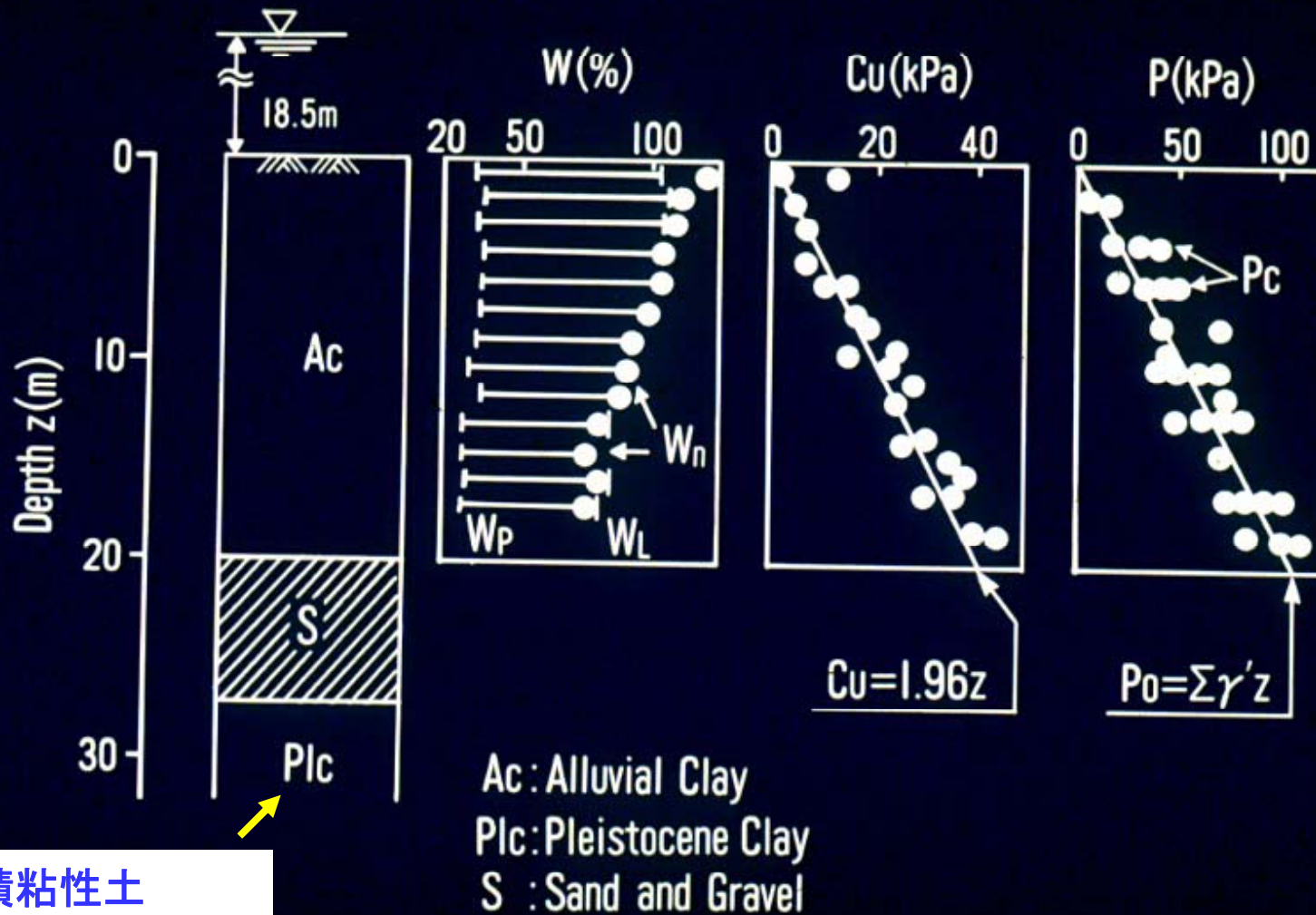
関西国際空港地盤条件



関西国際空港地盤条件



沖積粘性土層 (Alluvial clay): ほぼ正規圧密の軟弱地盤
自然含水比が液性限界に近い



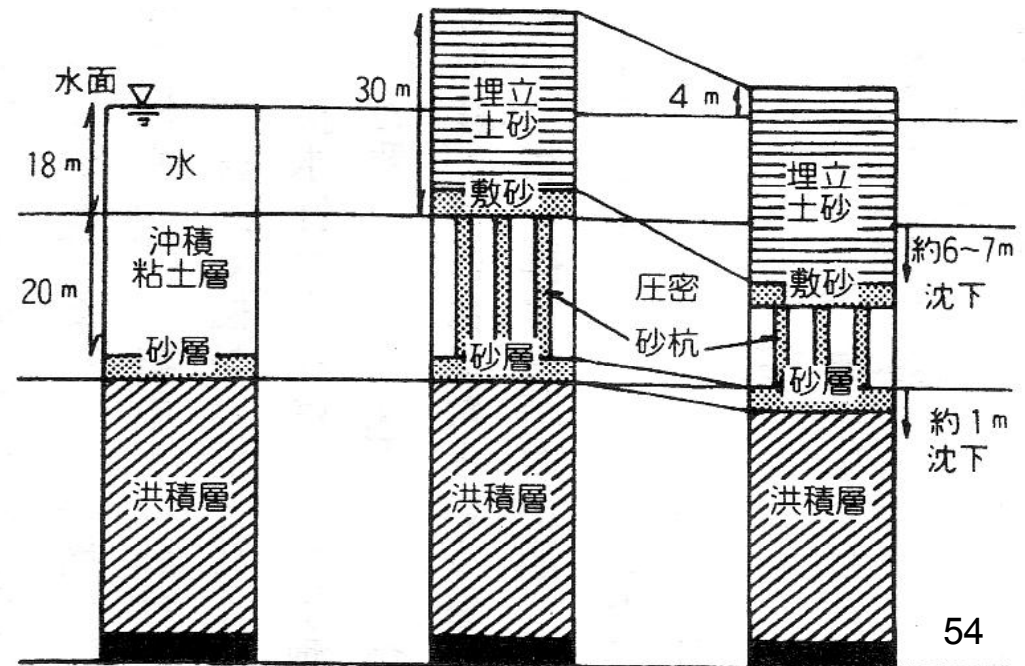
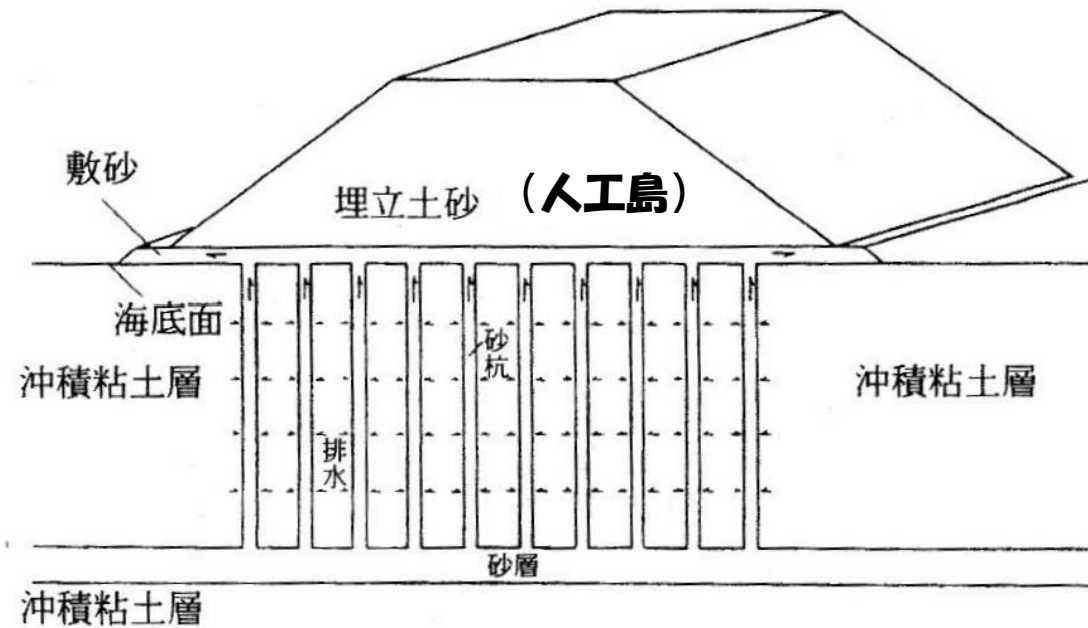
洪積粘性土
(Pleistocene clay)

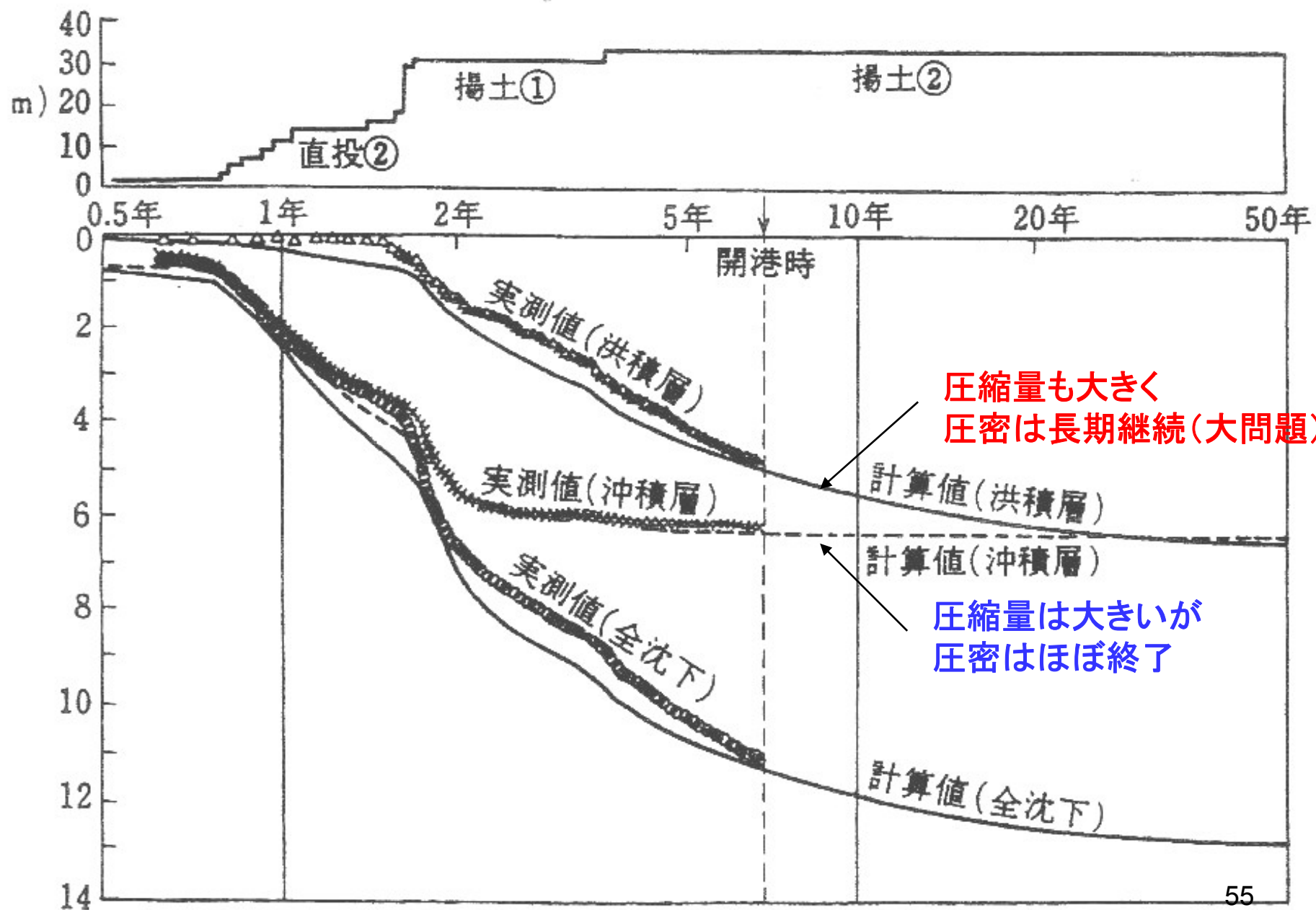
関西国際空港:

沖積粘土層の改良

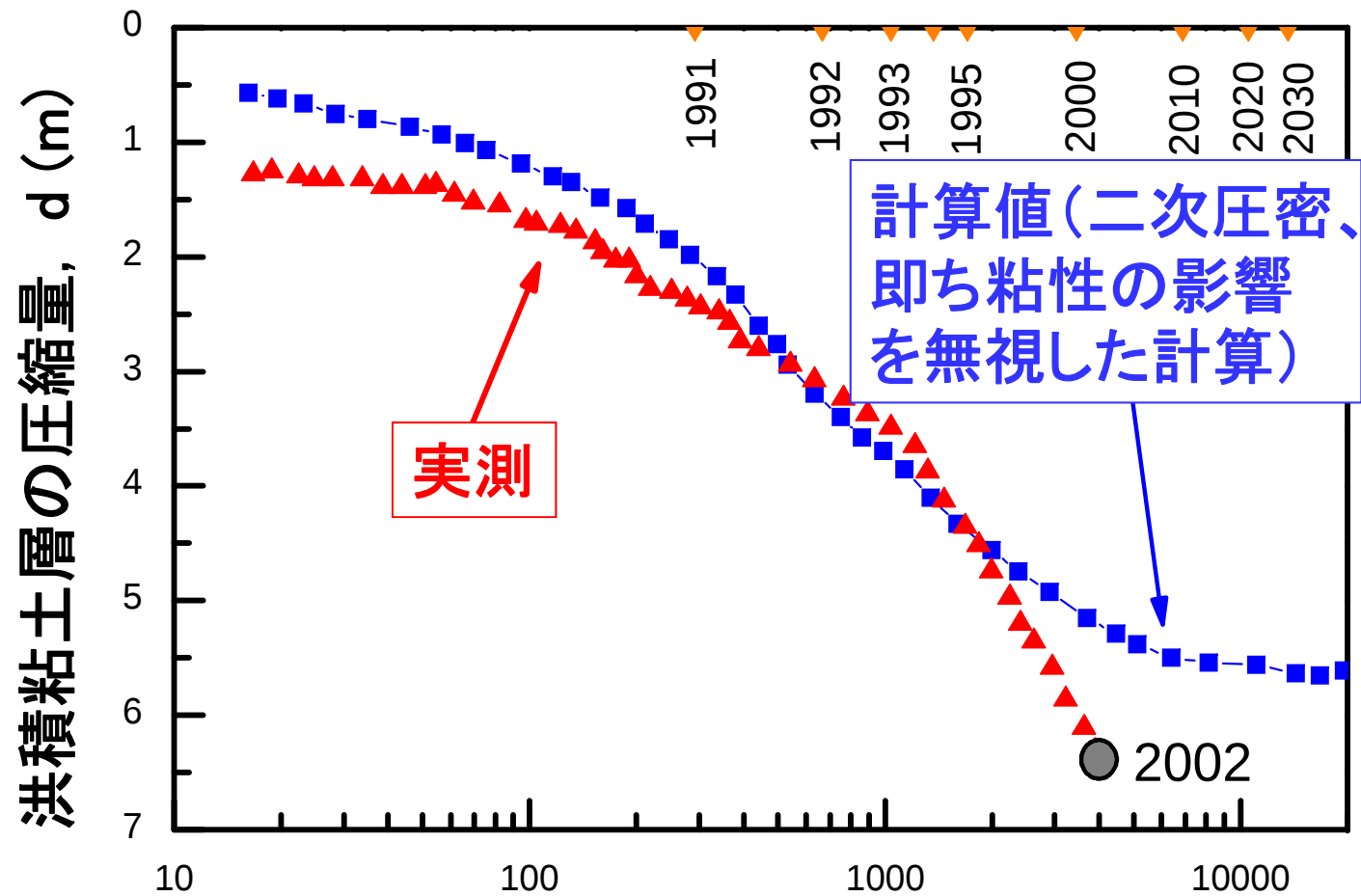
サンドパイル工法による
圧密速度の促進

最終的な沈下量が減るわけ
ではない





洪積粘土層： 深く厚くて地盤改良が出来ない(大問題が残った)



盛土完了時(1990.3)以降の経過日数

1. 概論

1.1 地盤改良の重要性

1.2 地盤改良技術の例

1) 関西国際空港

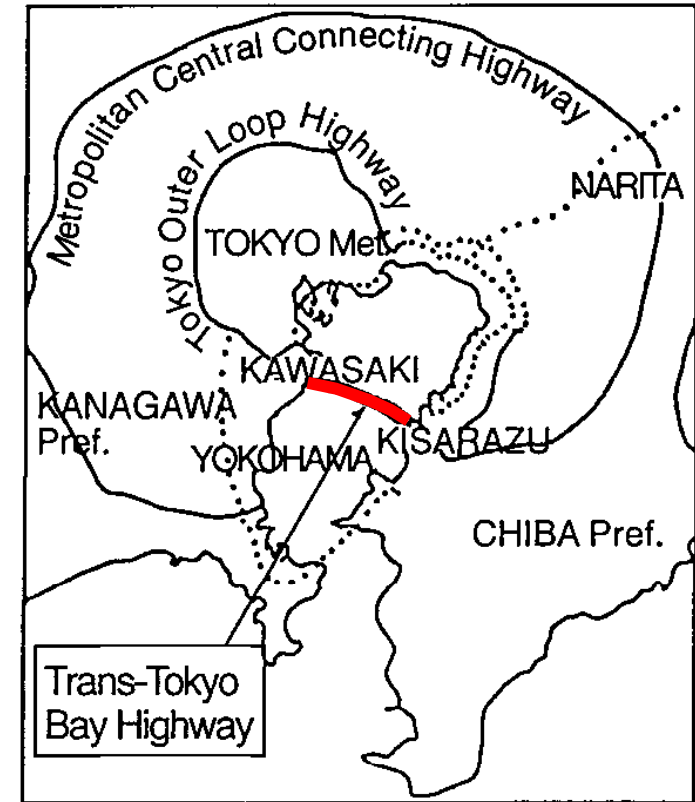
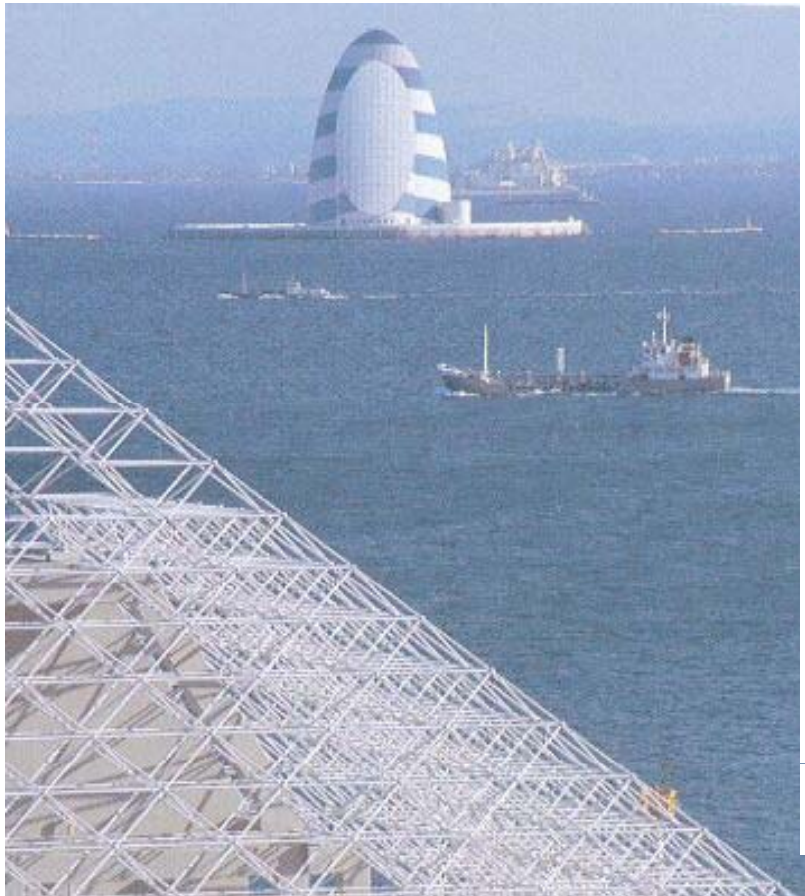
- a) 沖積粘性土層：沈下を供用前に終了させておく(サンドドレイン、SCP等々とプレロード)
- b) 洪積粘土層：深く厚くて地盤改良が出来ない(大問題が残った)
- c) 埋め立て砂層：液状化防止(振動締固め等)

2) 東京湾横断道路

- a) 沖積粘性土層：安定と沈下防止(SCPと原位置セメント混合)
 - b) 盛土：安定と変形防止(セメント混合土盛土)
- ### 3) 交通路の高架化、斜面に平地の創造：補強土工法
- a) 地山の急勾配化と安定：
 - b) 補強土の擁壁

1.3 地盤改良工法の原理と分類

東京湾横断道路



長さ 15.1 kmの有料道路

東京湾横断道路



浮島取付け部

木更津側人工島

川崎側人工島

橋梁

概略の歴史

1971年5月:

本格的技術的検討の開始

1983年5月:

内閣、東京湾横断道路の建設を
決定

1986年10月:

東京湾横断道路株式会社設立

1989年5月:

建設開始

1997年11月:

竣工、12月18日開通



概略の歴史

1971年5月(25):

本格的技術的検討の開始

1983年5月(37):

内閣、東京湾横断道路の建設を
決定

1986年10月(40):

東京湾横断道路株式会社設立

1989年5月(43):

建設開始

1997年11月(51):

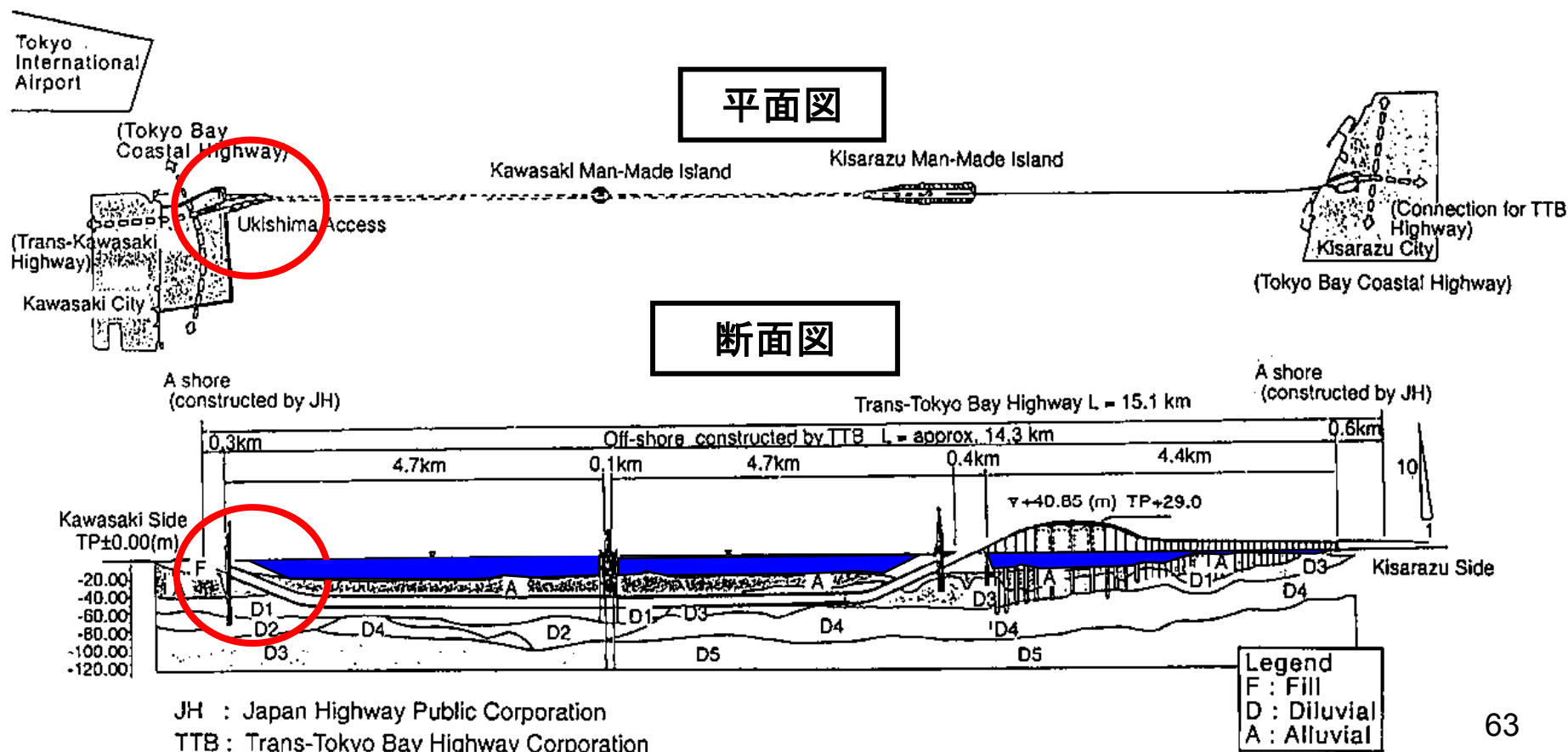
竣工、12月18日開通



東京湾横断道路の構造

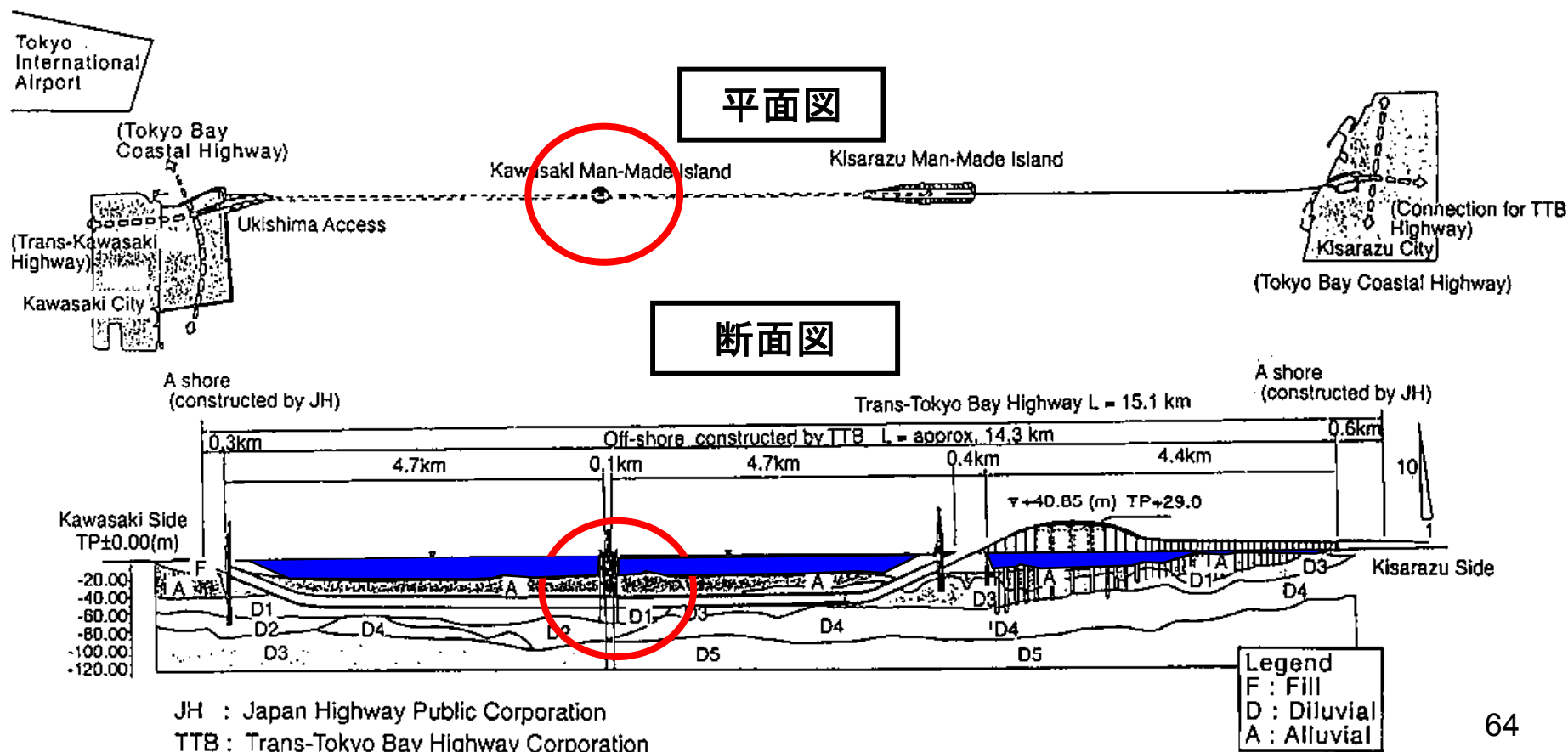
- ・浮島取付け部;
- ・川崎側人工島;
- ・橋梁

- ・長さ9.5 km のシールドトンネル;
- ・木更津側人工島;



東京湾横断道路の構造

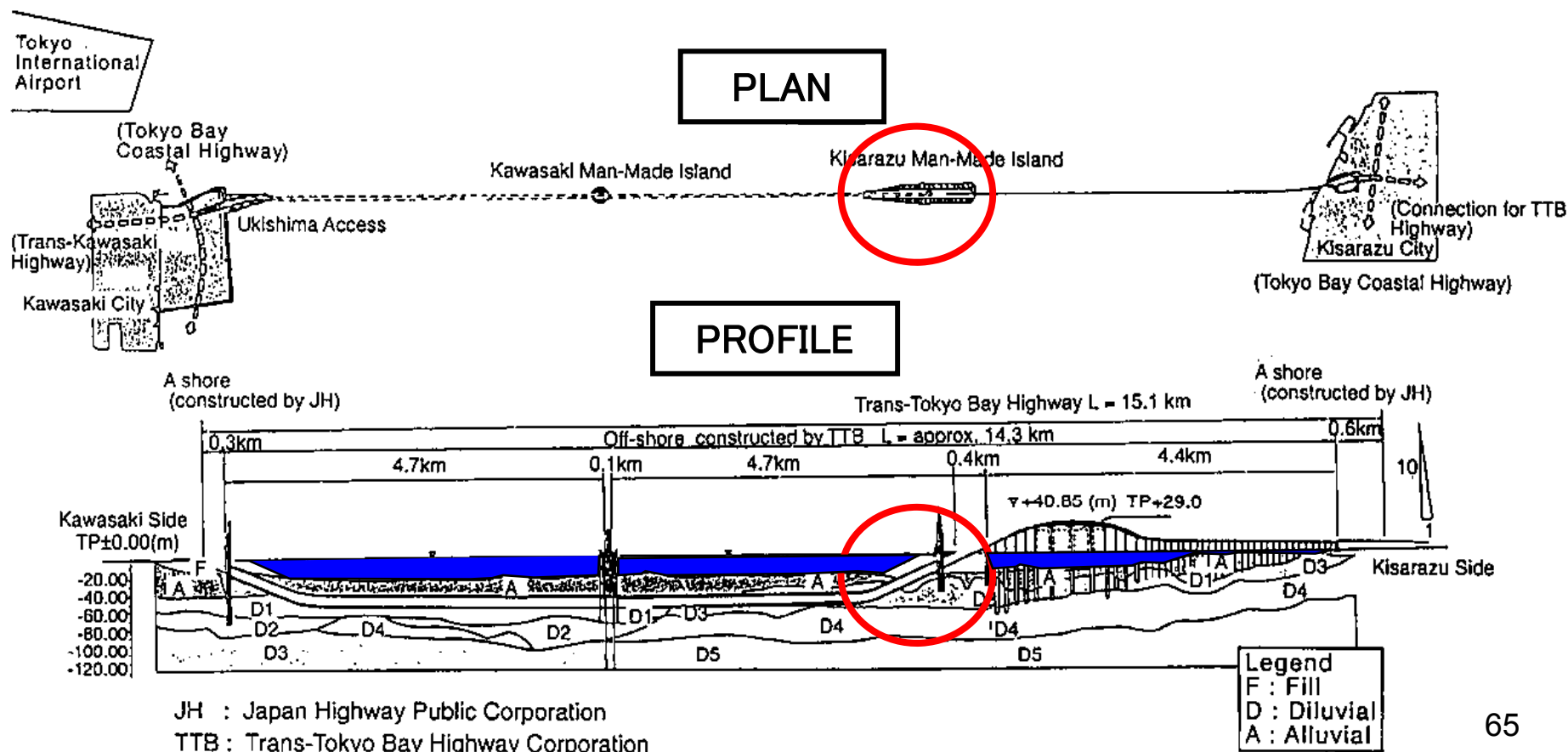
- ・浮島取付け部;
- ・川崎側人工島;
- ・橋梁
- ・長さ9.5 km のシールドトンネル;
- ・木更津側人工島;



東京湾横断道路の構造

- ・浮島取付け部;
- ・川崎側人工島;
- ・橋梁

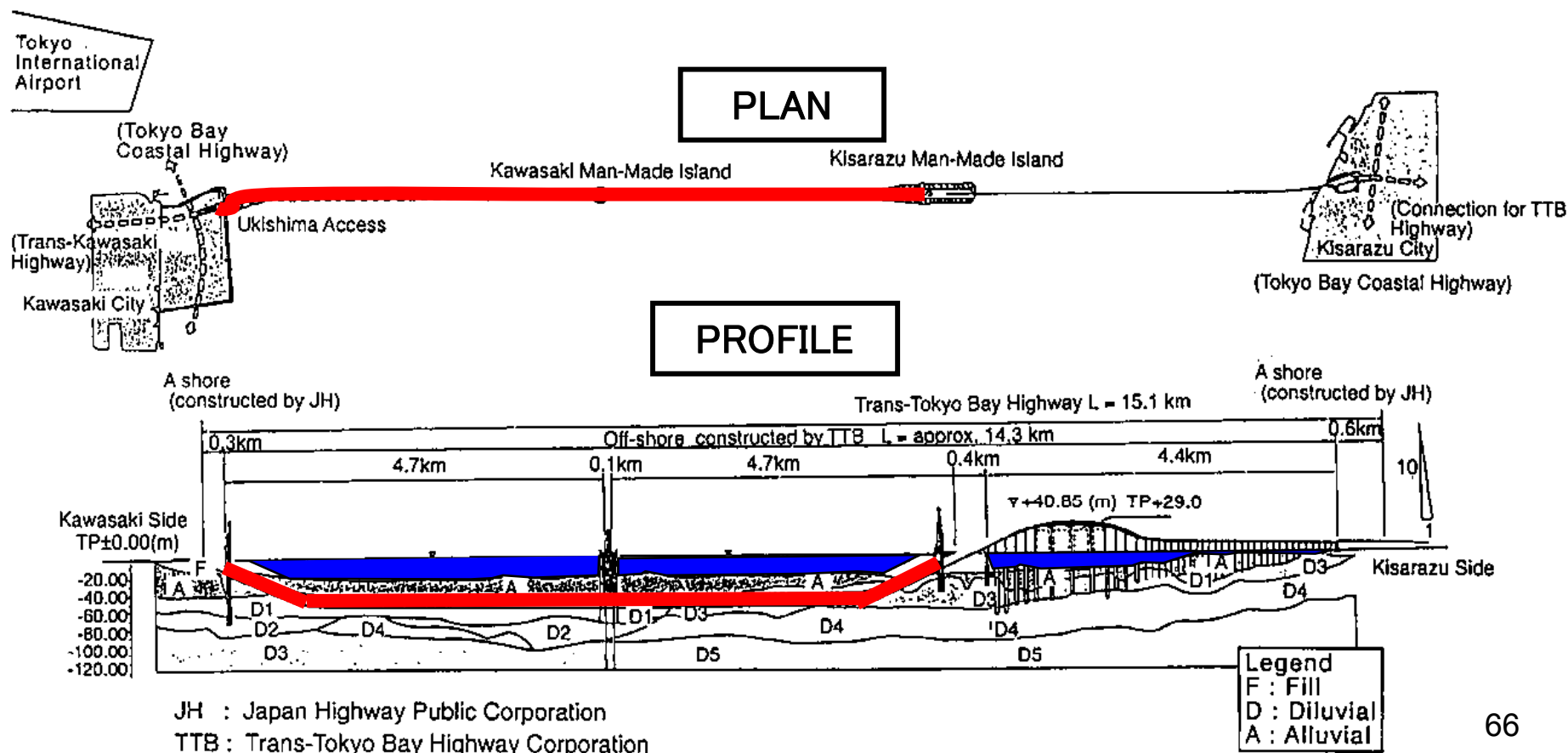
- ・長さ9.5 km のシールドトンネル;
- ・木更津側人工島;



東京湾横断道路の構造

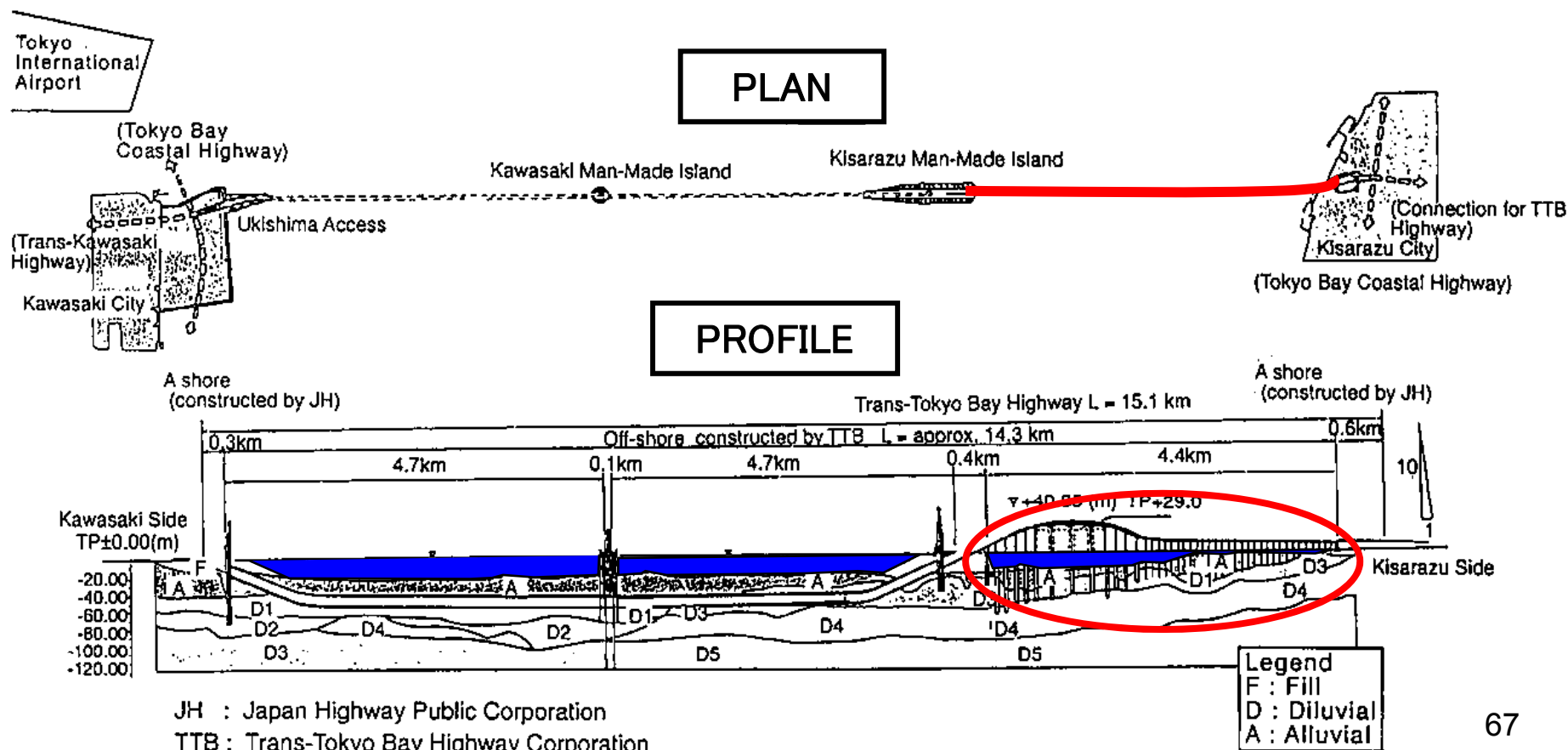
- ・浮島取付け部;
- ・川崎側人工島;
- ・橋梁

- ・長さ9.5 km のシールドトンネル;
- ・木更津側人工島;



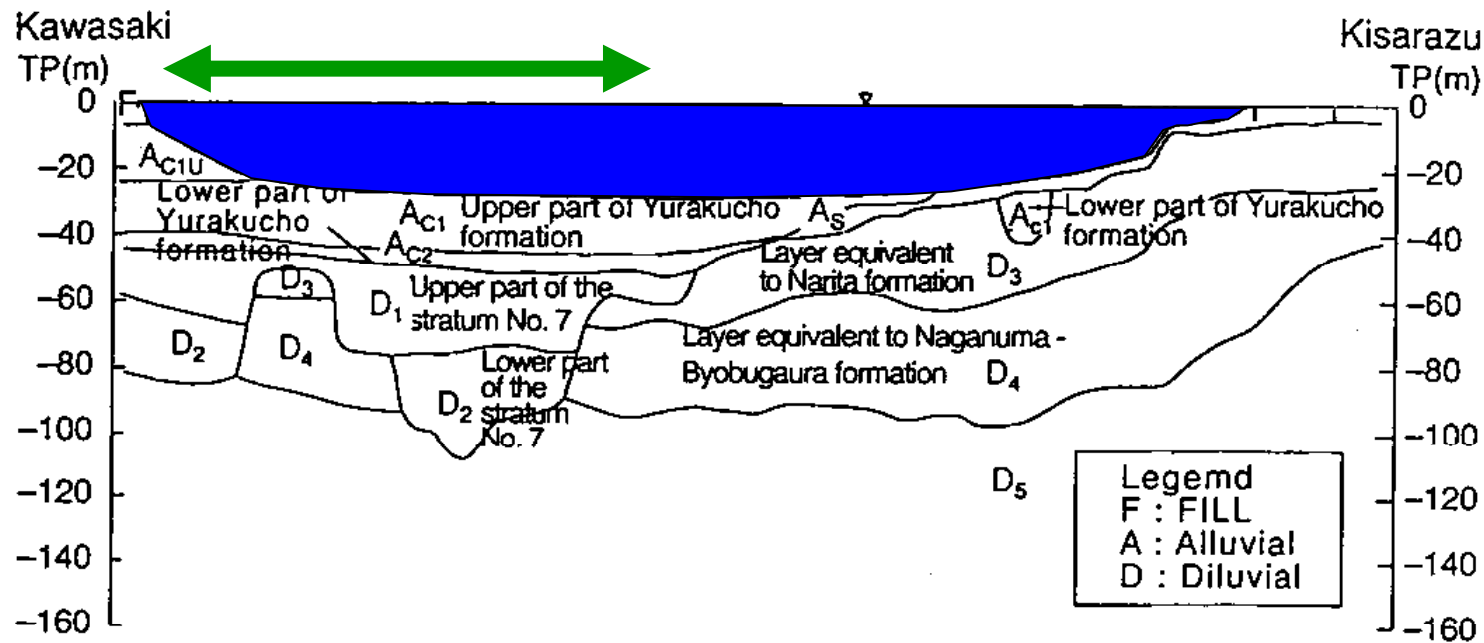
東京湾横断道路の構造

- ・浮島取付け部;
- ・川崎側人工島;
- ・橋梁
- ・長さ9.5 km のシールドトンネル;
- ・木更津側人工島;



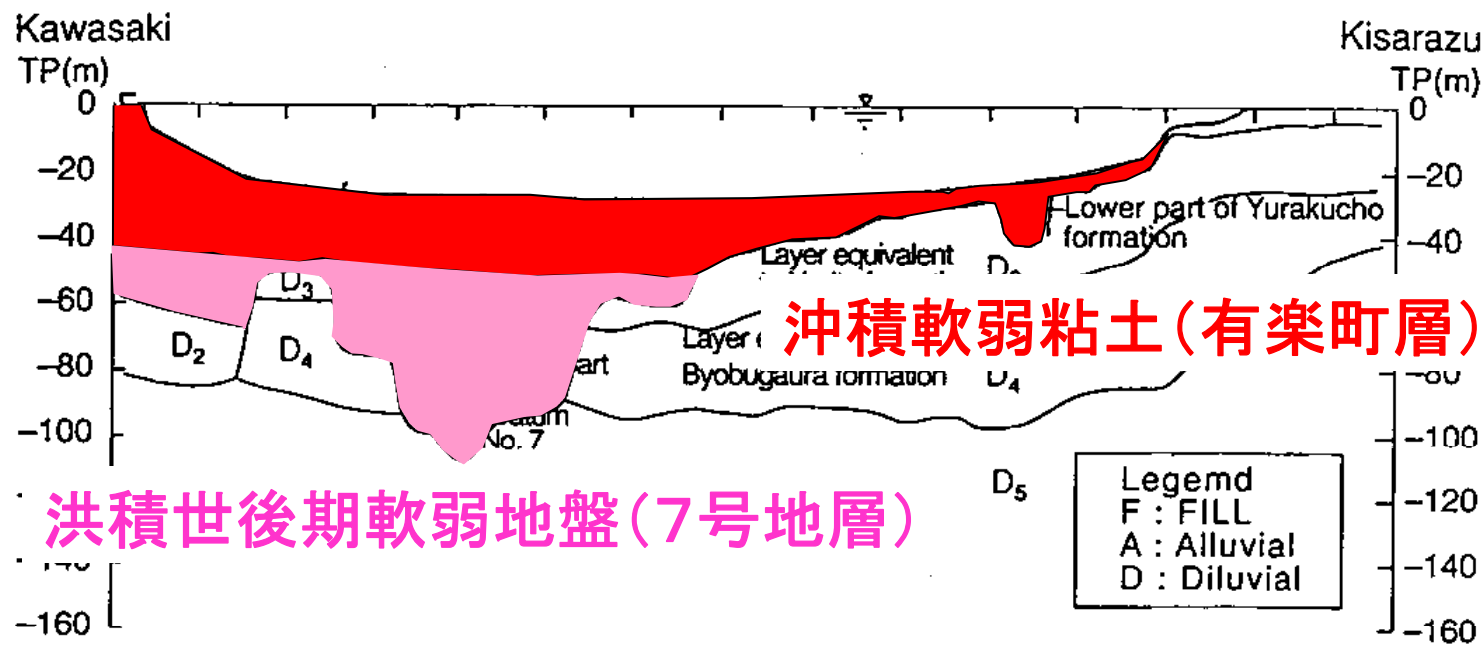
構造形式を決定した4つの困難な設計条件

- ・比較的深い海;
- ・頻繁な海上交通(東京港);



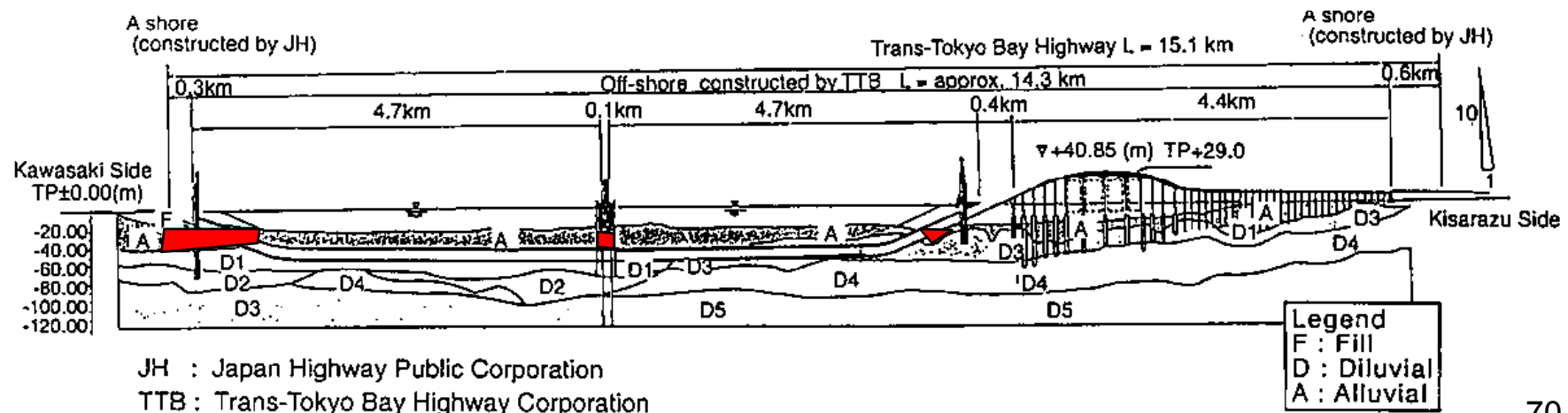
構造形式を決定した4つの困難な設計条件

- ・比較的深い海;
- ・頻繁な海上交通(東京港);
- ・**軟弱な基礎地盤;**
- ・高い地震活動度.

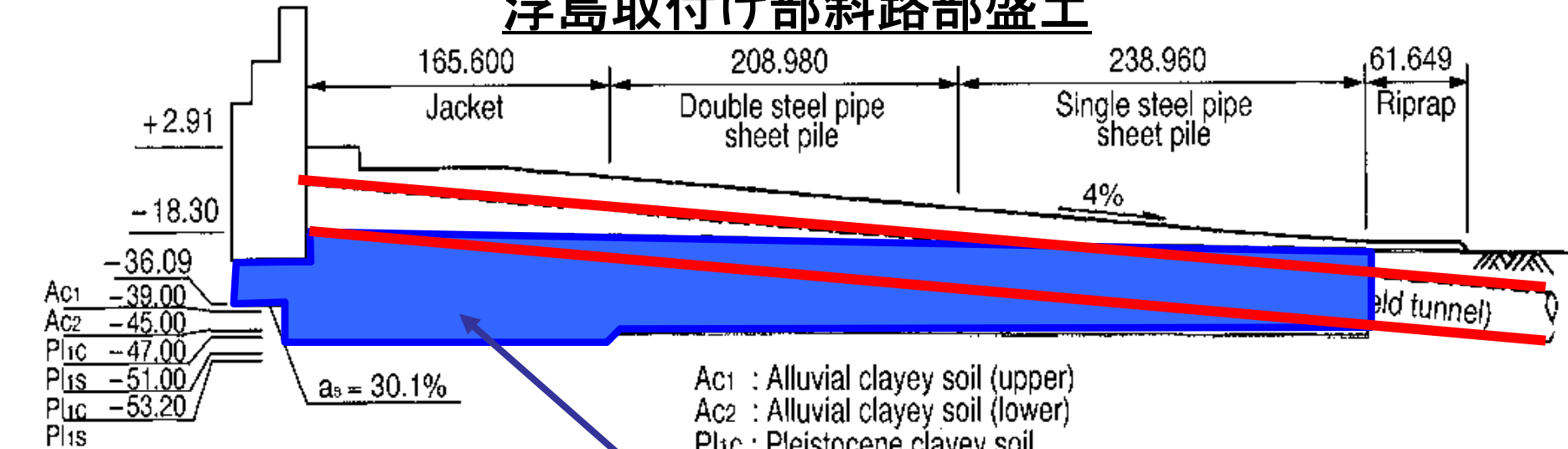


地盤工学に関連した重要な設計・施工上の課題-1:

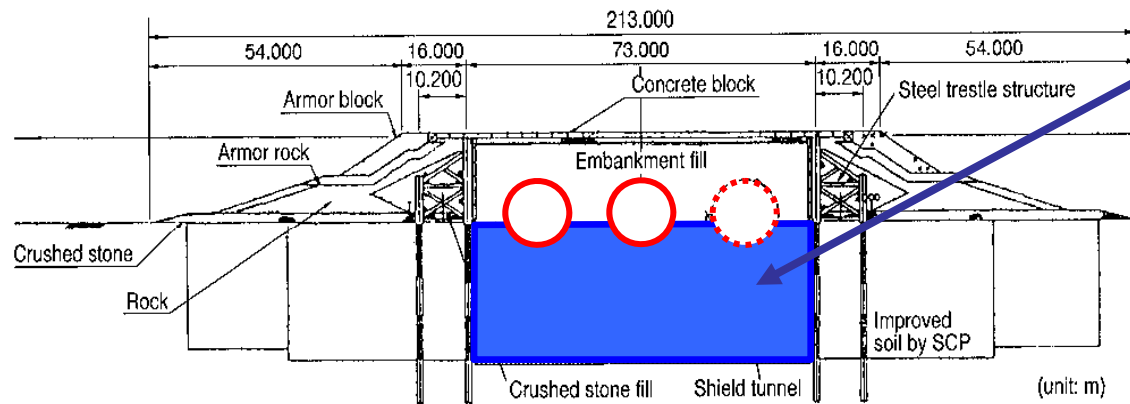
- 軟弱粘土層の大規模な**原位置セメント混合**による地盤改良
- セメント改良粘土の強度を制御;
- セメント改良工事(盛土と原地盤)の総量;
3.77 百万 m^3 .



浮島取付け部斜路部盛土



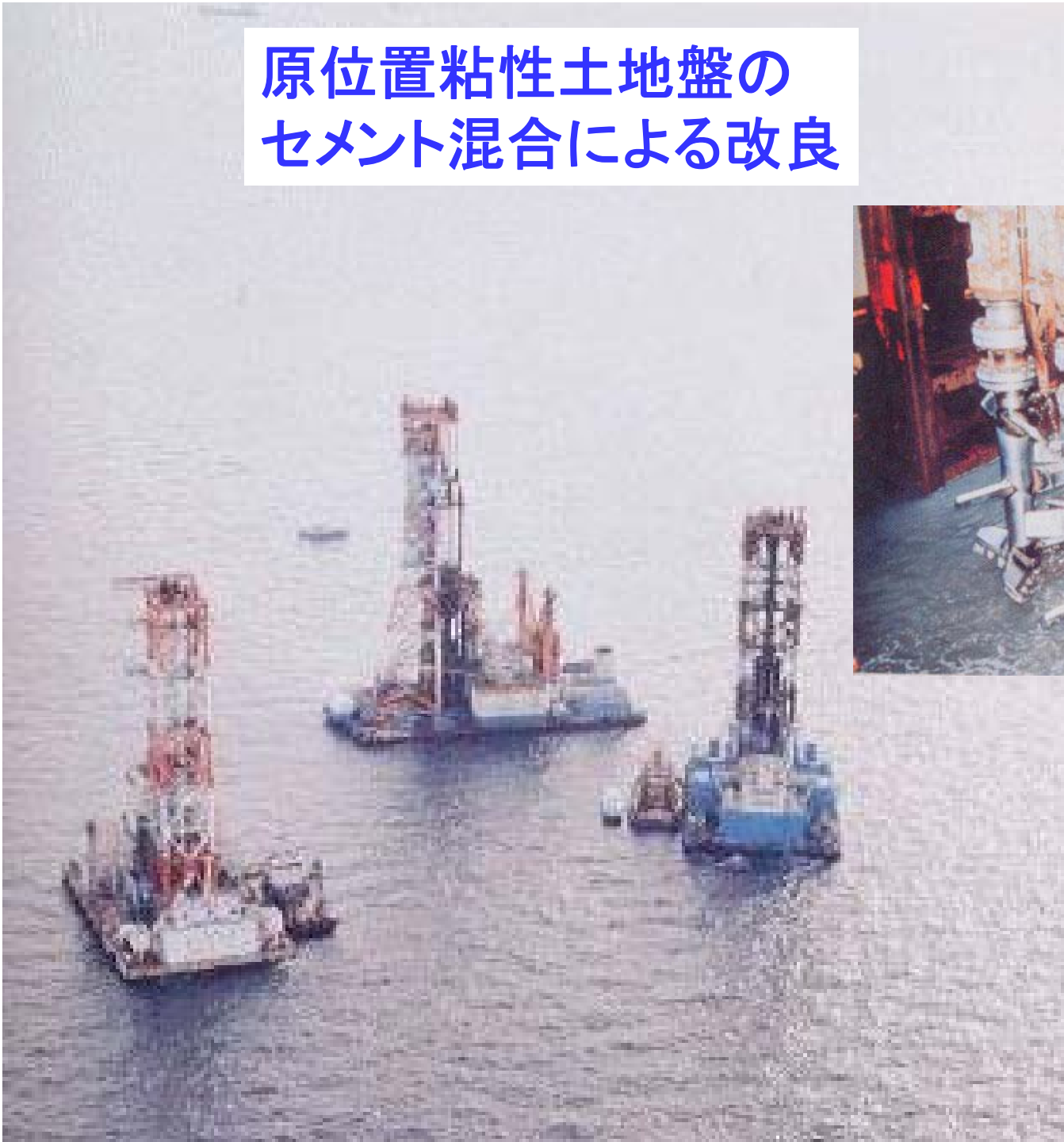
B-B section



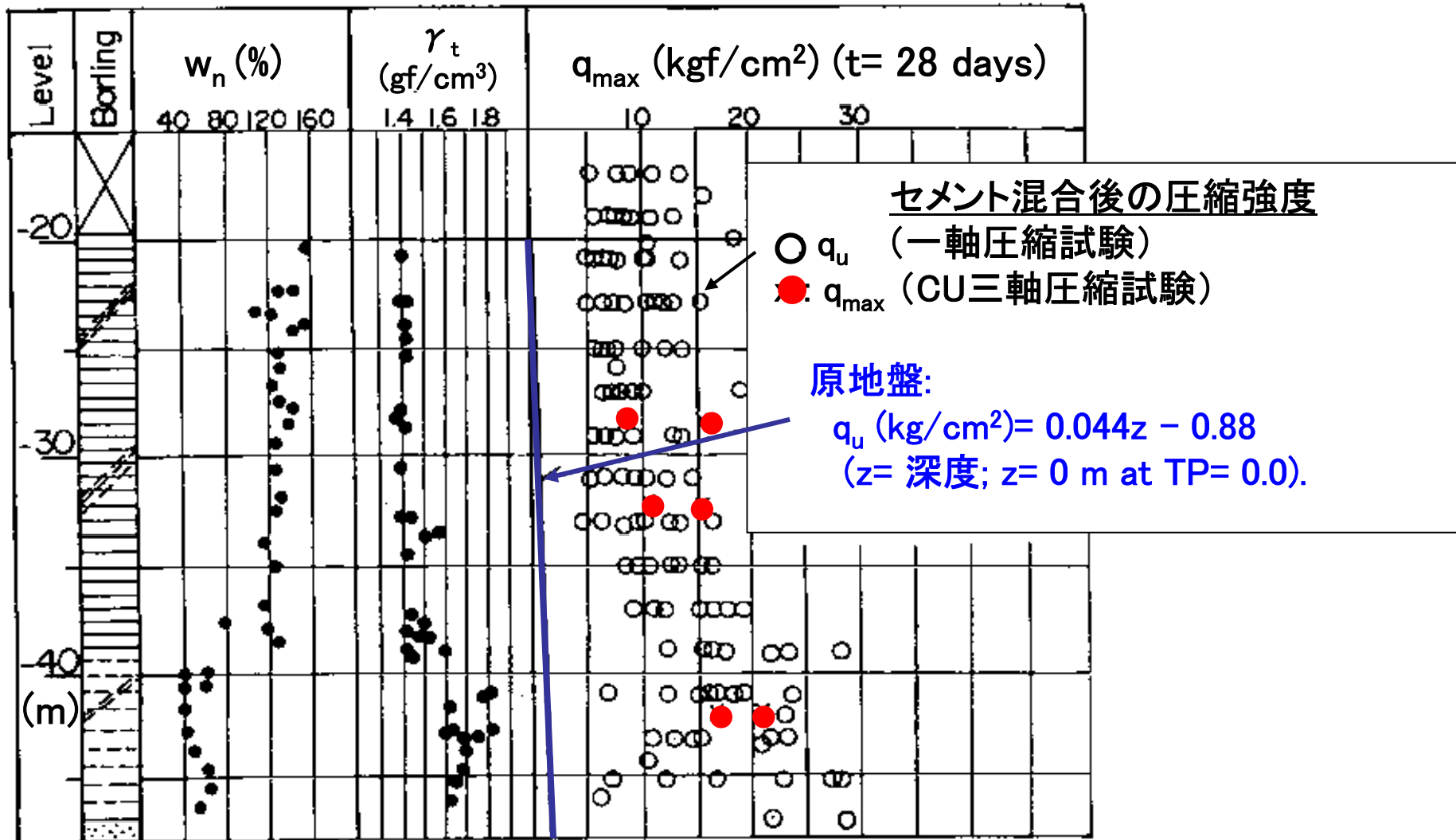
超軟弱粘土層を原位置
セメント混合によって改良：
(制御された強度)

- a) 盛土地盤系の安定性
(特に地震時)が保証
できる程度に強く。
- b) スムースなトンネル掘
削ができる程度に弱く。

原位置粘性土地盤の セメント混合による改良

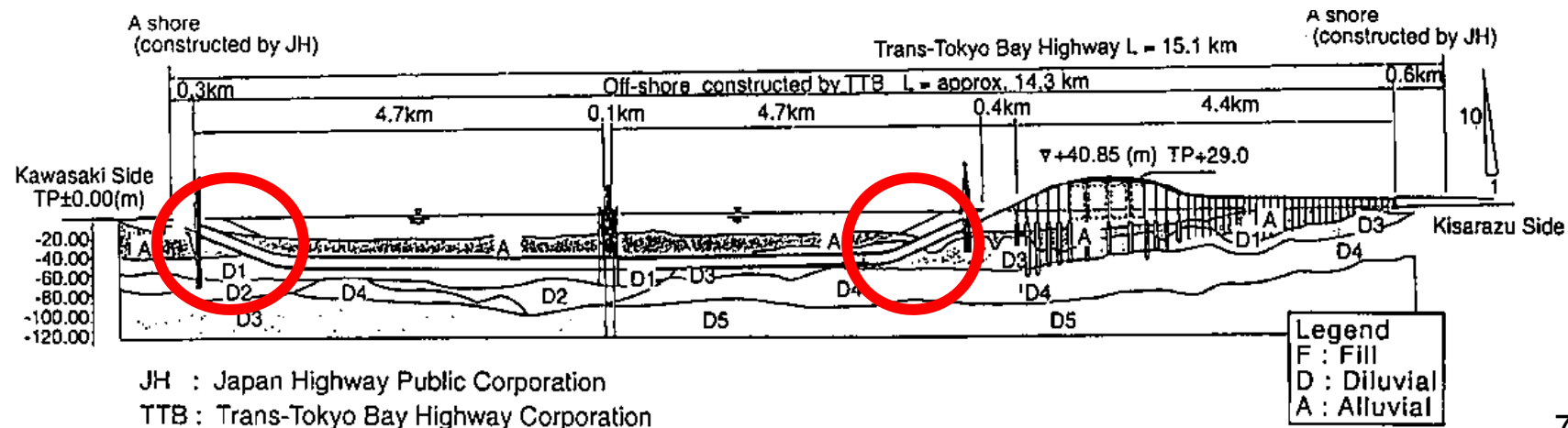


セメント混合前後の軟弱粘土の圧縮強度

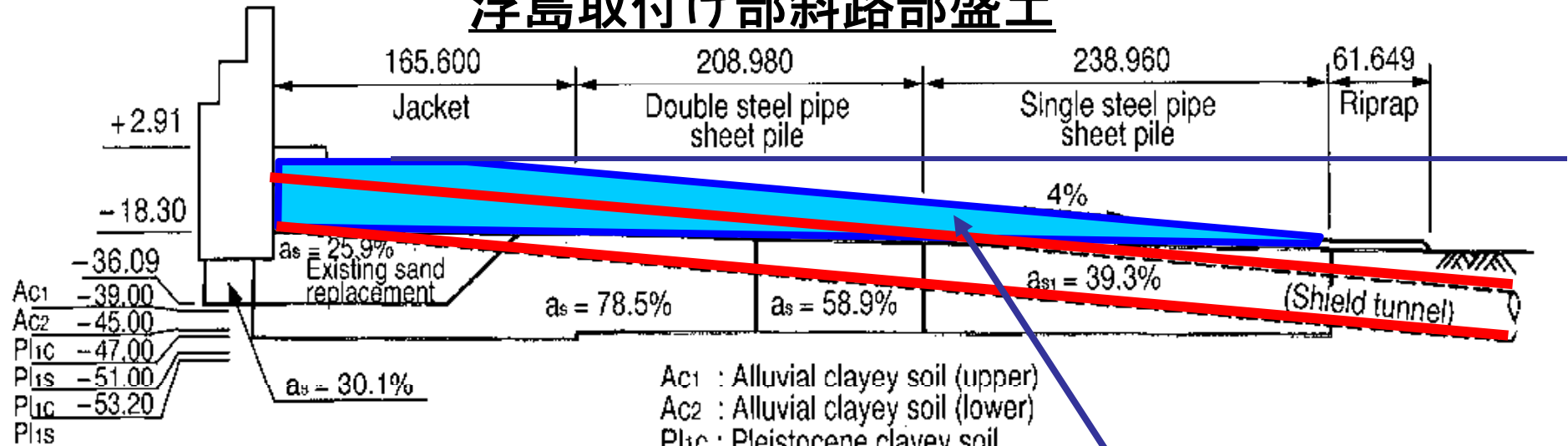


地盤工学に関連した重要な設計・施工上の課題 - 2:

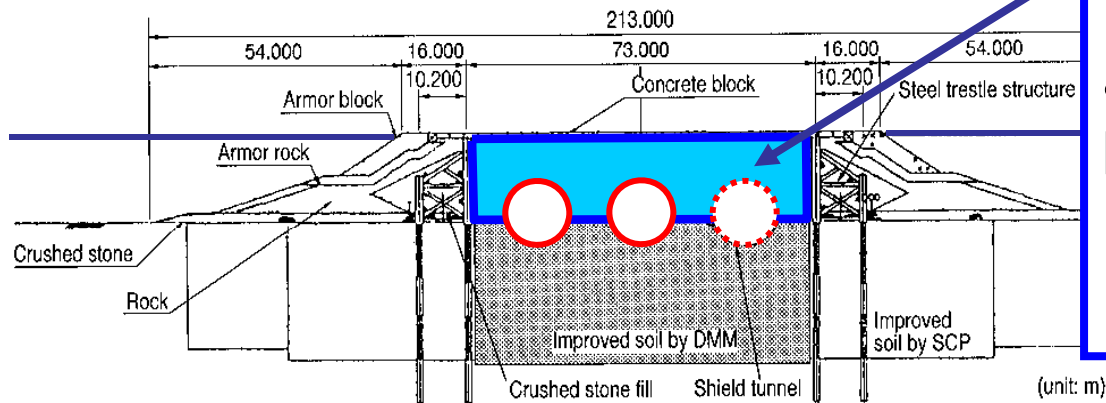
セメント混合した砂のスラリーを用いた斜路部の水中盛土の建設



浮島取付け部斜路部盛土



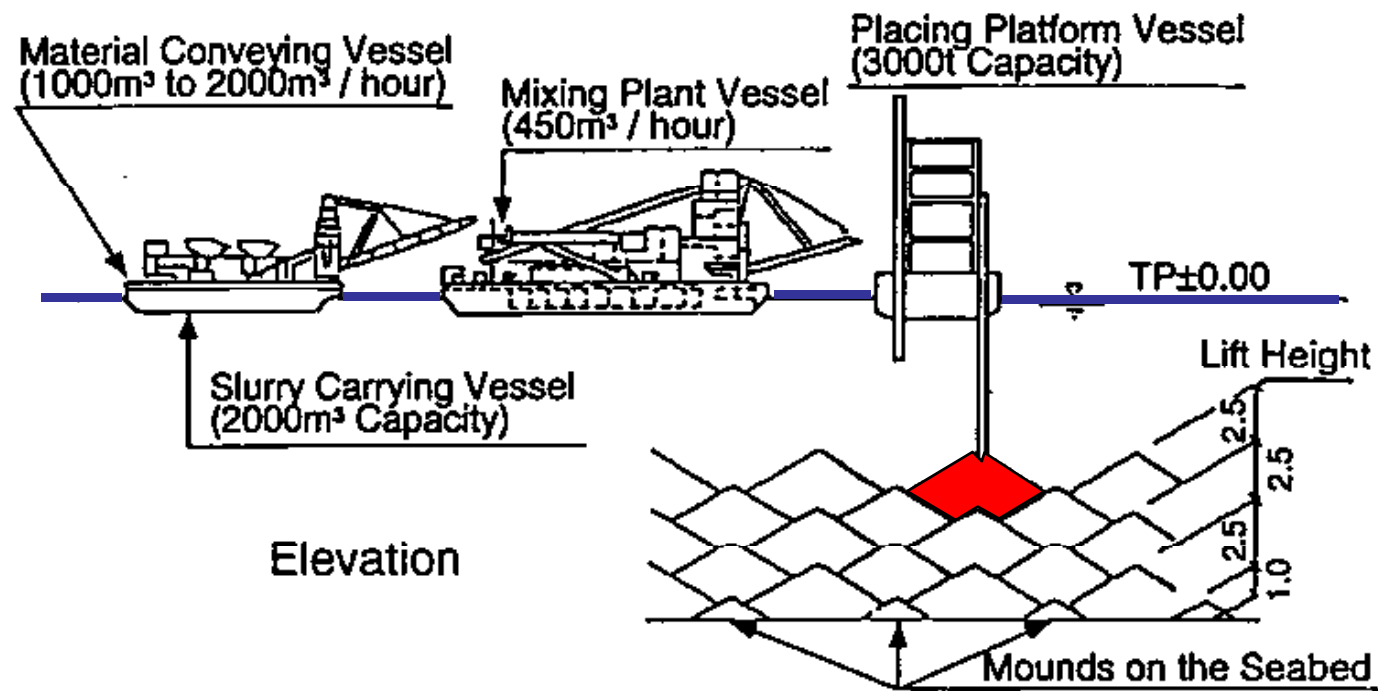
B-B section



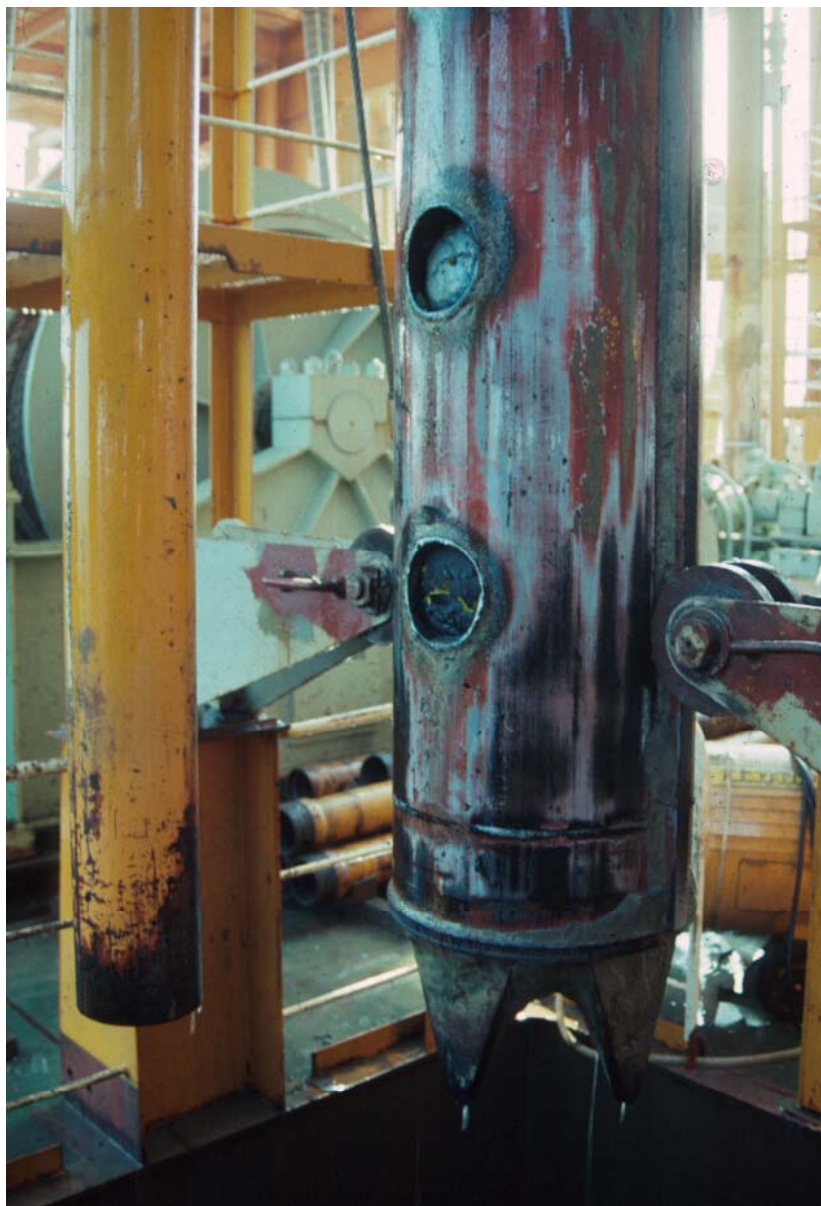
セメント混合砂のスラリーによる水中盛土:

a) 制御された強度:

b) **トンネルの浮上を防ぐための一定値 (1.8 gf/cm^3) の全単位体積重量の確保**



セメント混合砂スラリー の水中盛土工事

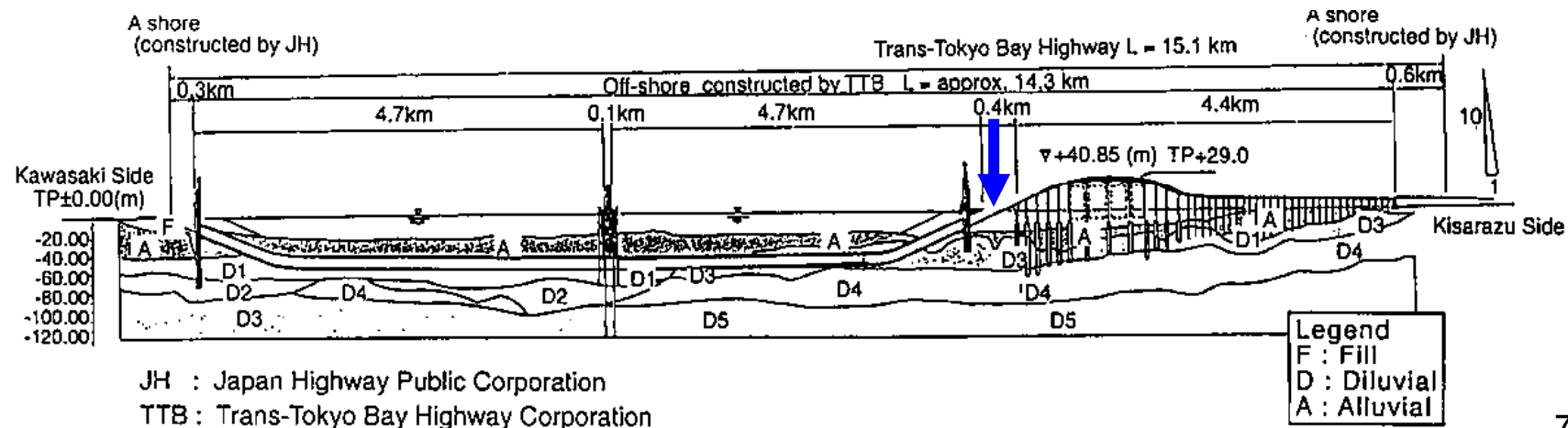




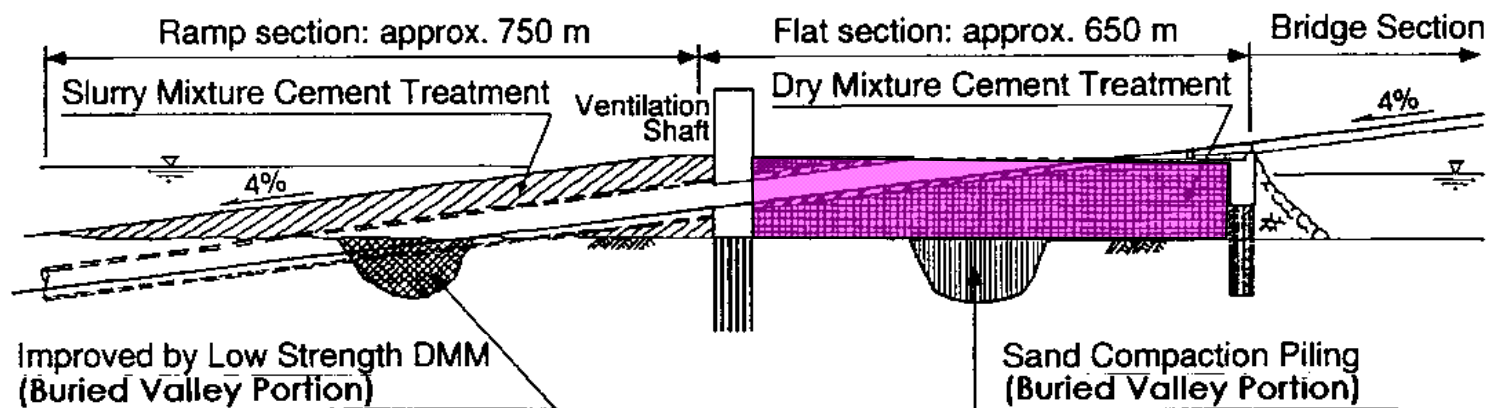
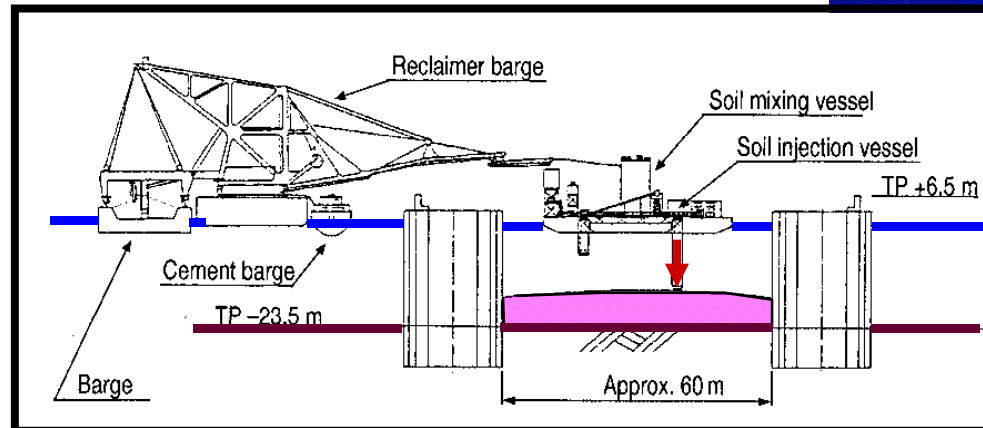
地盤工学に関連した重要な設計・施工上の課題 - 3:

木更津側人工島の盛土の

- セメント混合砂のスラリーを用いた斜路部盛土;
- **ドライ状態のセメント混合砂の水中盛土(平坦部)**

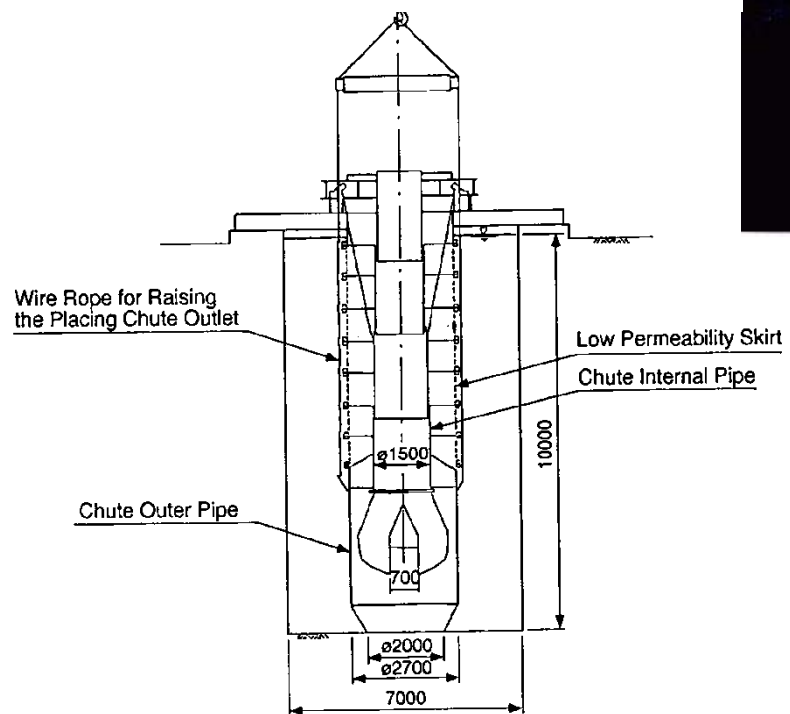


ドライ状態のセメント混合砂 を用いた水中盛土工事 (木更津側人工島)



Section

特別に開発した二重管 水中打設装置



ドライ状態のセメント改良砂
の水中盛土： 工事中と
工事完了後
(木更津側人工島)



1. 概論

1.1 地盤改良の重要性

1.2 地盤改良技術の例

1) 関西国際空港

- a) 沖積粘性土層：沈下を供用前に終了させておく(サンドドレイン、SCP等々とプレロード)
- b) 洪積粘土層：深く厚くて地盤改良が出来ない(大問題が残った)
- c) 埋め立て砂層：液状化防止(振動締固め等)

2) 東京湾横断道路

- a) 沖積粘性土層：安定と沈下防止(SCPと原位置セメント混合)
- b) 盛土：安定と変形防止(セメント混合土盛土)

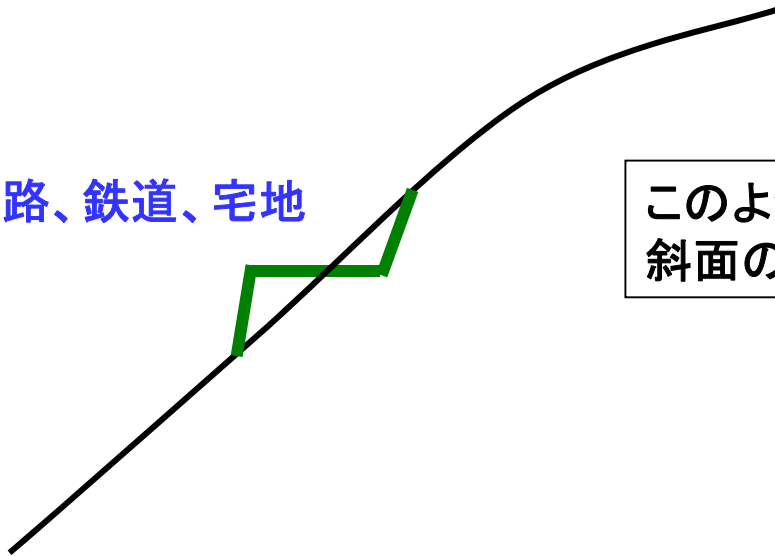
3) 交通路の高架化、斜面に平地の創造：補強土工法

- a) 地山の急勾配化と安定：
- b) 補強土の擁壁

1.3 地盤改良工法の原理と分類

斜面に平面を建設するとする。

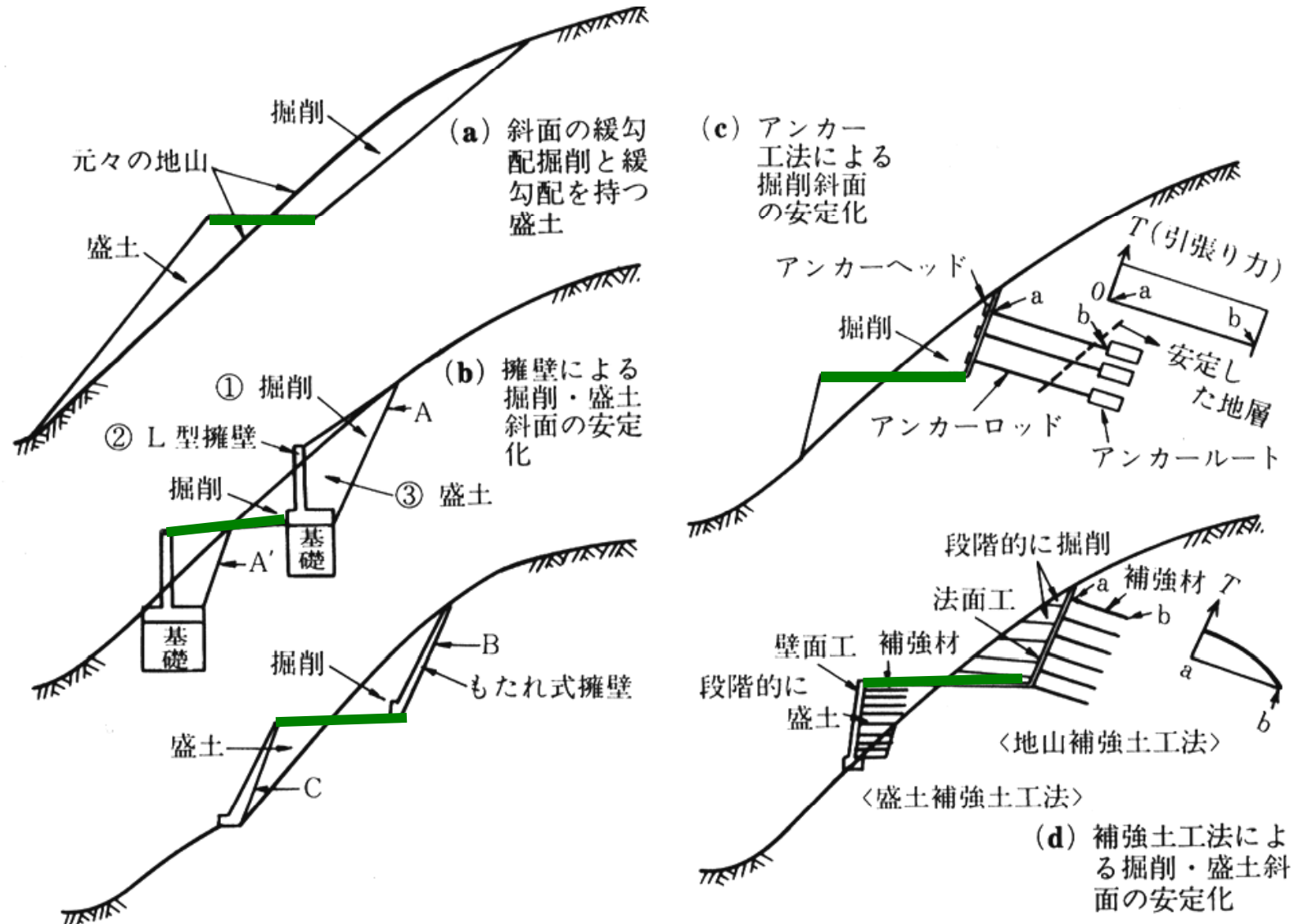
道路、鉄道、宅地



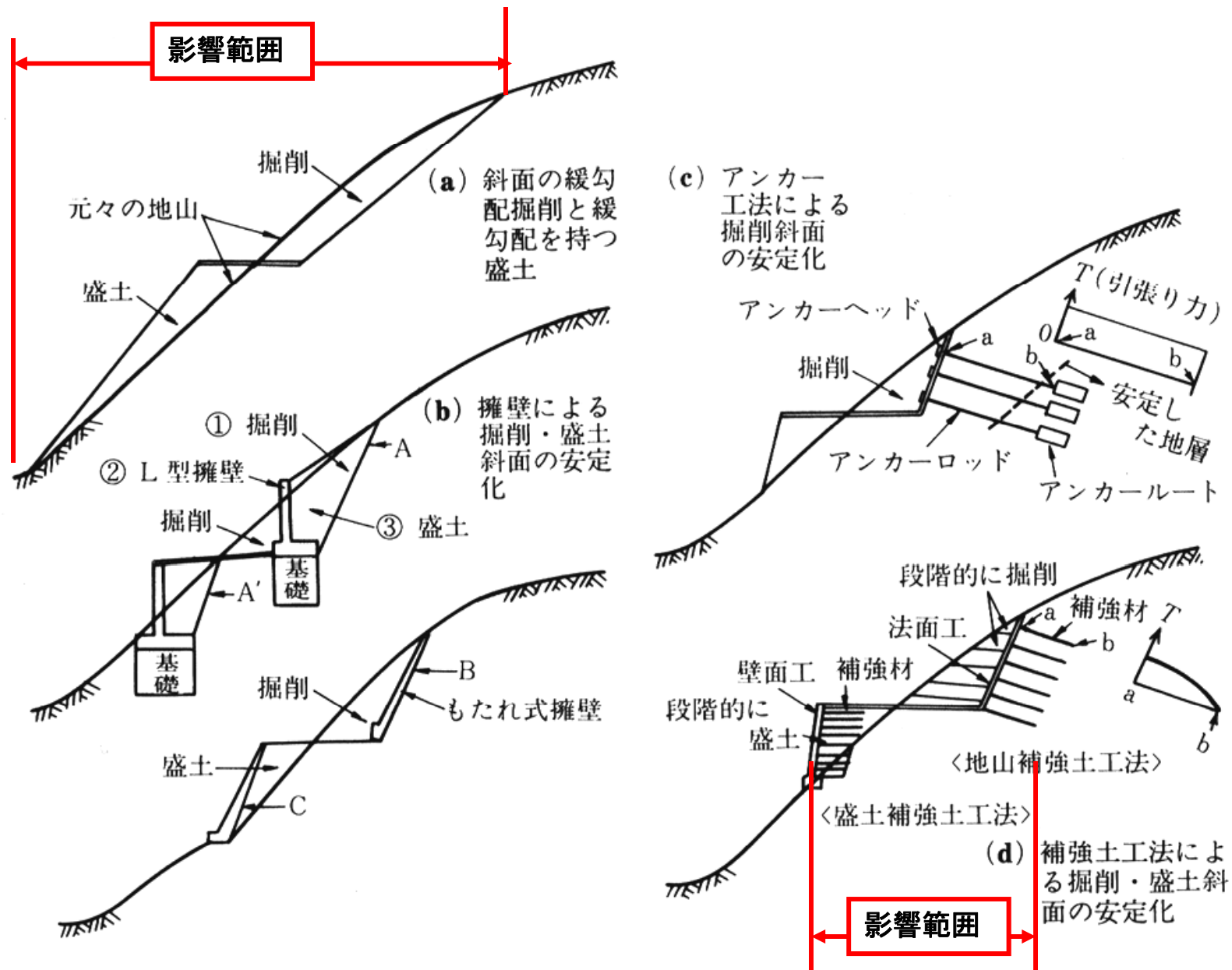
このような建設法では、
斜面の安定に対する安全率は大幅に減少する。

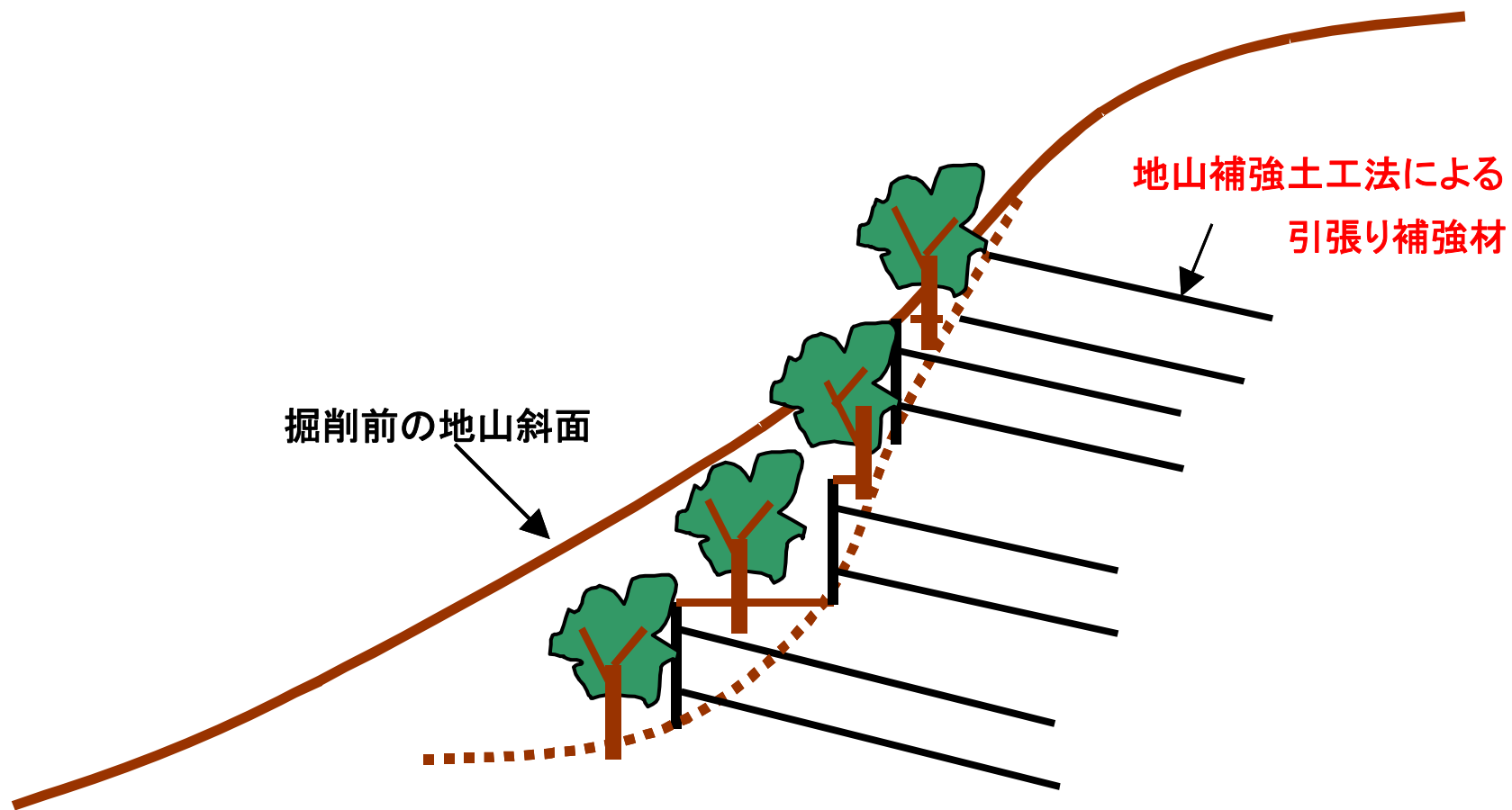
斜面に平面を建設するとする。

斜面の安定に対する必要な安全率を維持する方法



天まで堀削、地獄まで盛土 → 小さく堀削・小さく盛土





補強土工法による掘削して急勾配化した斜面の緑化

中央高速八王子～高尾間











1993年10月
工事完了直後
(名神天王山トンネル)



1999年8月
緑化が進んだ状況





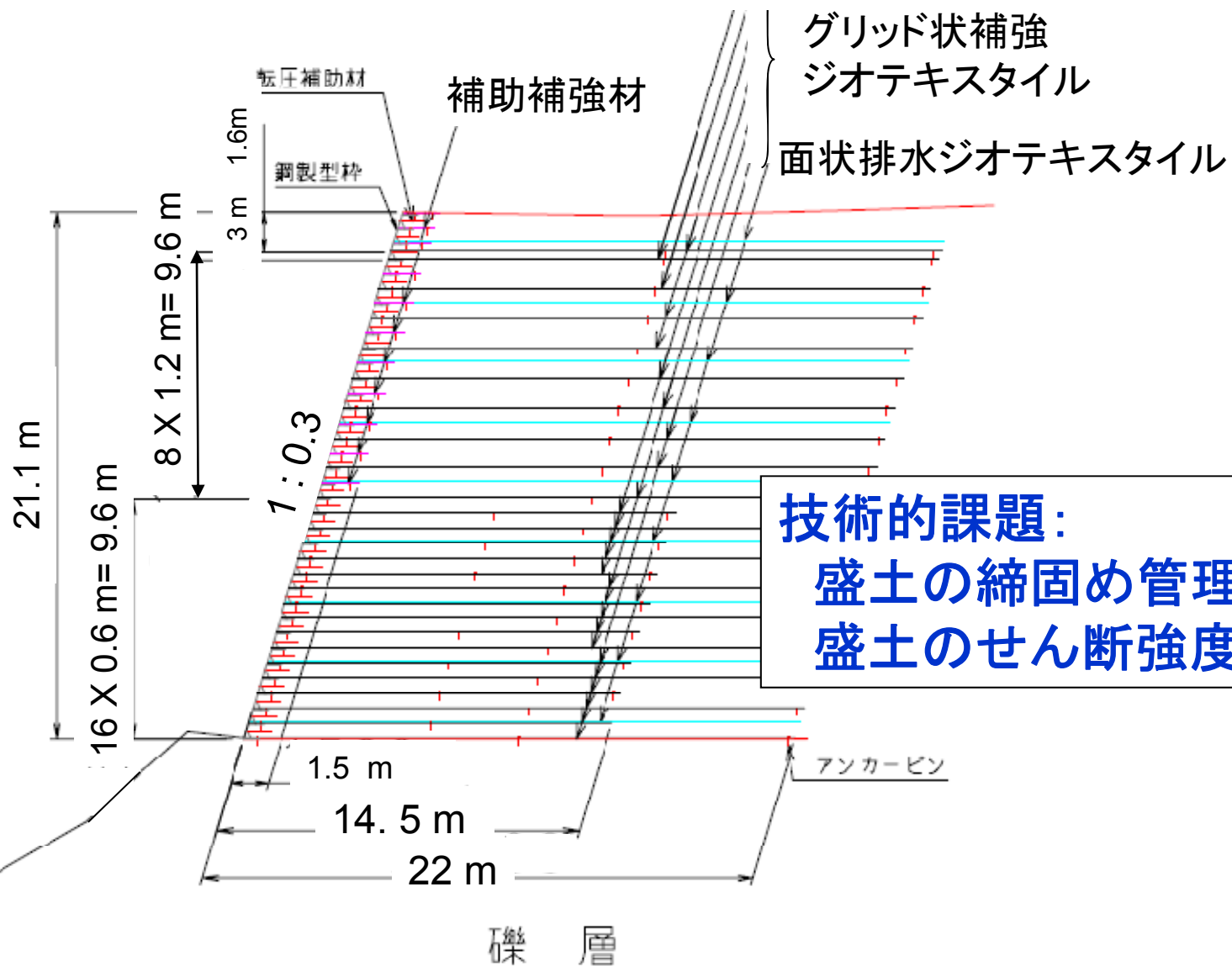
建設中の富士山静岡空港



富士山静岡空港、一の谷、高さ16.7m のジオテキスタイル補強土擁壁とその背後の高さ45mの盛土(2007年11月2日筆者撮影)→**自然環境の保全**

高さ21 m





技術的課題:
 盛土の締固め管理
 盛土のせん断強度の設計

富士山静岡空港、二の谷、ジオテキスタイル補強土擁壁(静岡県の資料)

1. 概論

1.1 地盤改良の重要性

1.2 地盤改良技術の例

1) 関西国際空港

- a) 沖積粘性土層：沈下を供用前に終了させておく(サンドドレイン、SCP等々とプレロード)
- b) 洪積粘土層：深く厚くて地盤改良が出来ない(大問題が残った)
- c) 埋め立て砂層：液状化防止(振動締固め等)

2) 東京湾横断道路

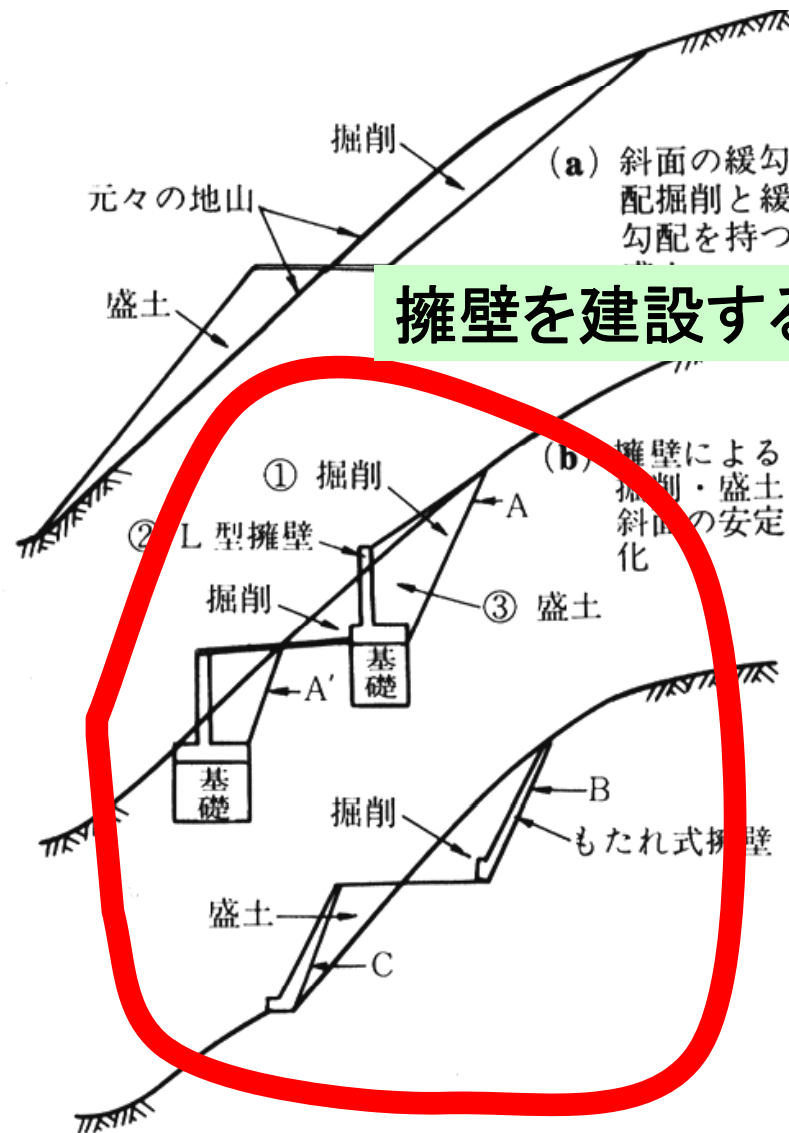
- a) 沖積粘性土層：安定と沈下防止(SCPと原位置セメント混合)
- b) 盛土：安定と変形防止(セメント混合土盛土)

3) 交通路の高架化、斜面に平地の創造：補強土工法

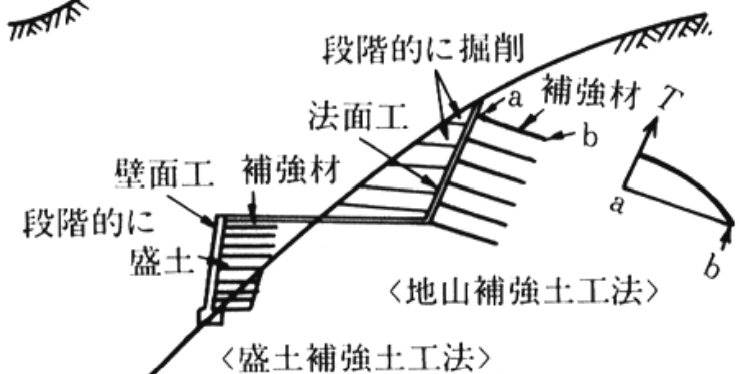
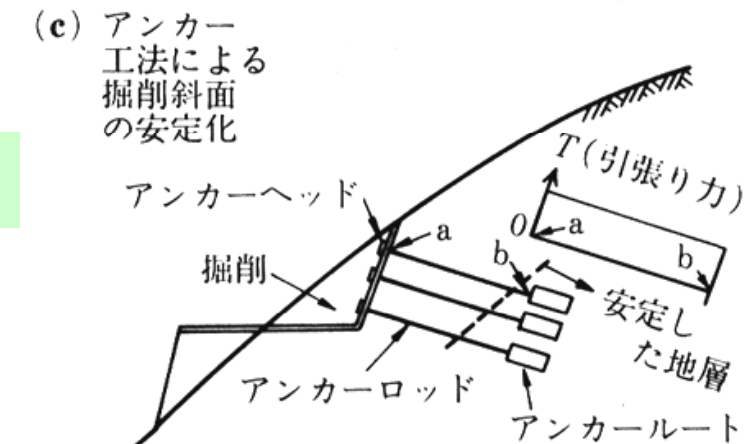
- a) 地山の急勾配化と安定：
- b) 補強土の擁壁

1.3 地盤改良工法の原理と分類

斜面に平面を建設するとする。



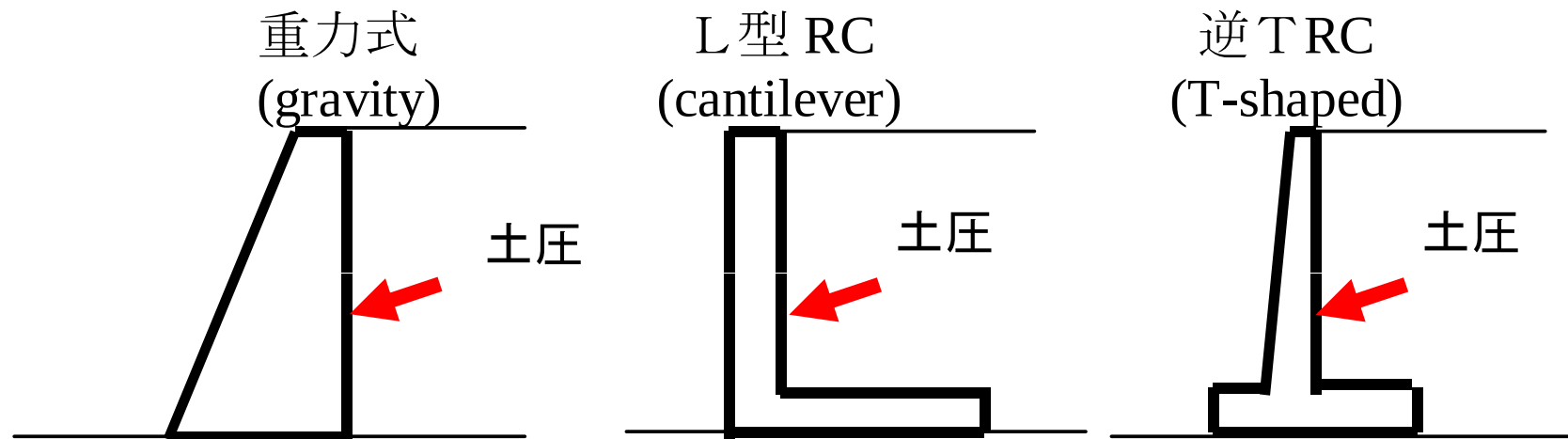
擁壁を建設する



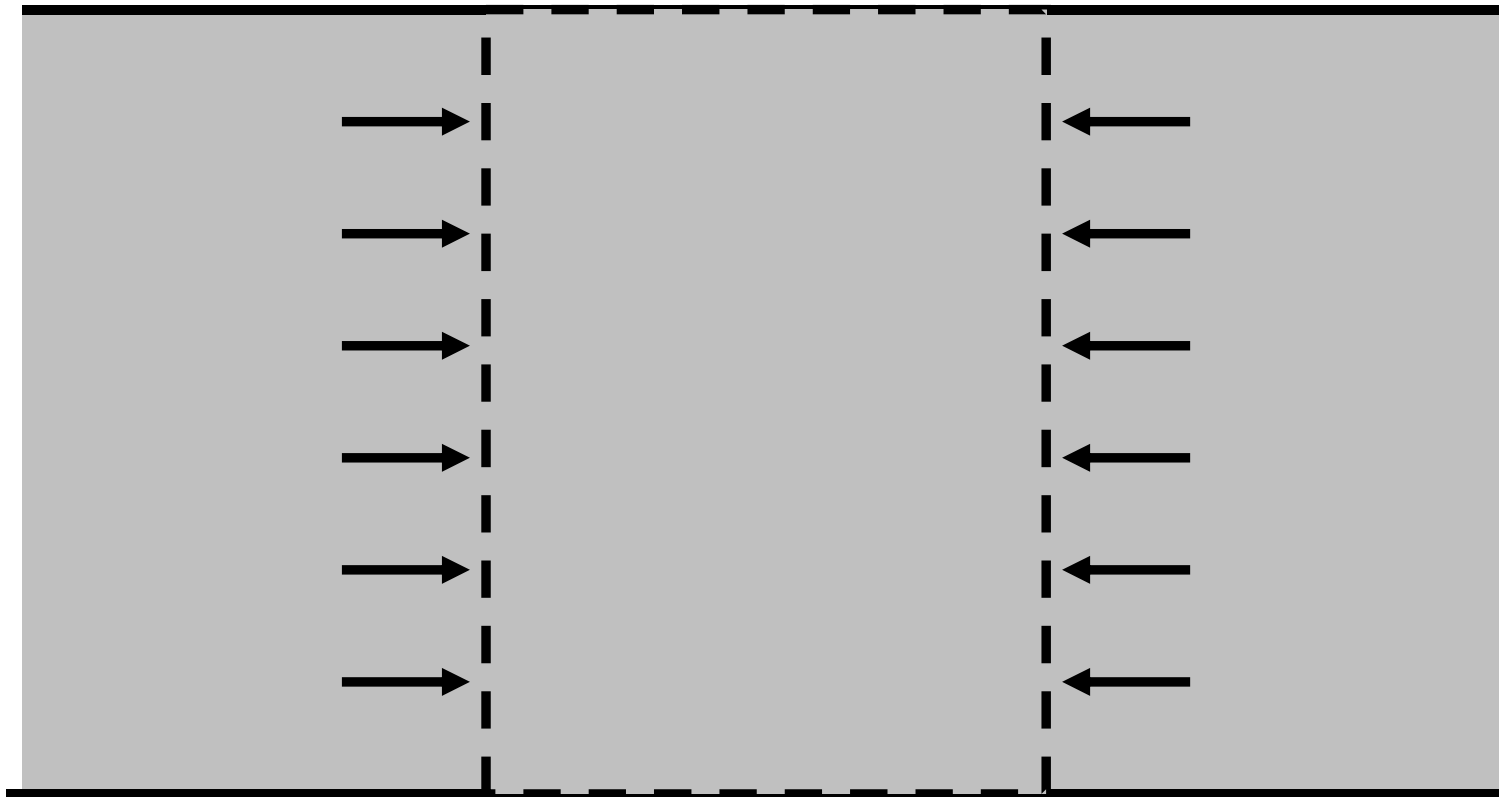
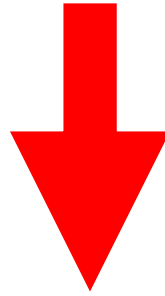
(d) 補強土工法による掘削・盛土斜面の安定化

擁壁構造物の基本メカニズムに 戻って補強土擁壁の原理を考える

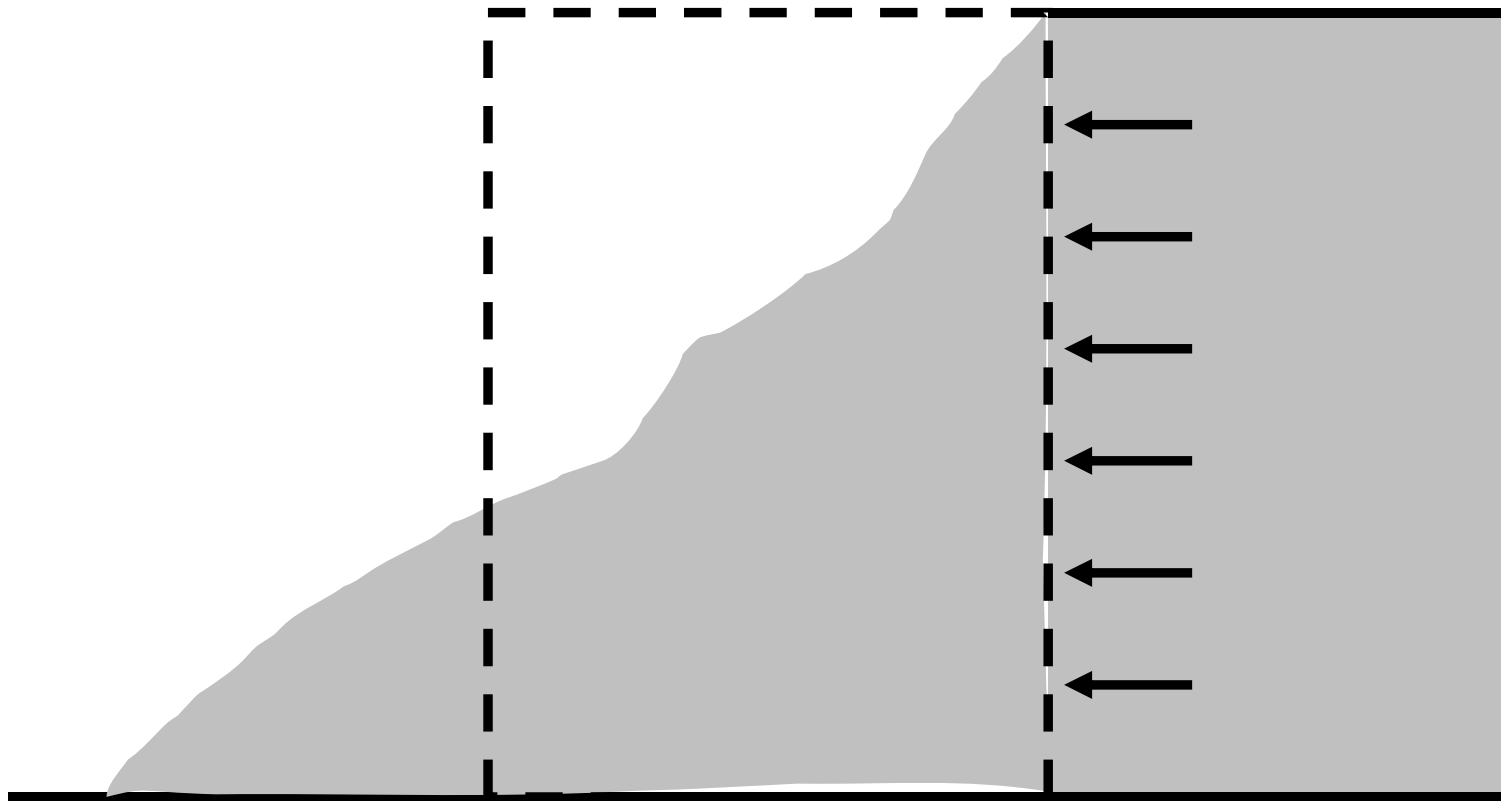
従来型擁壁



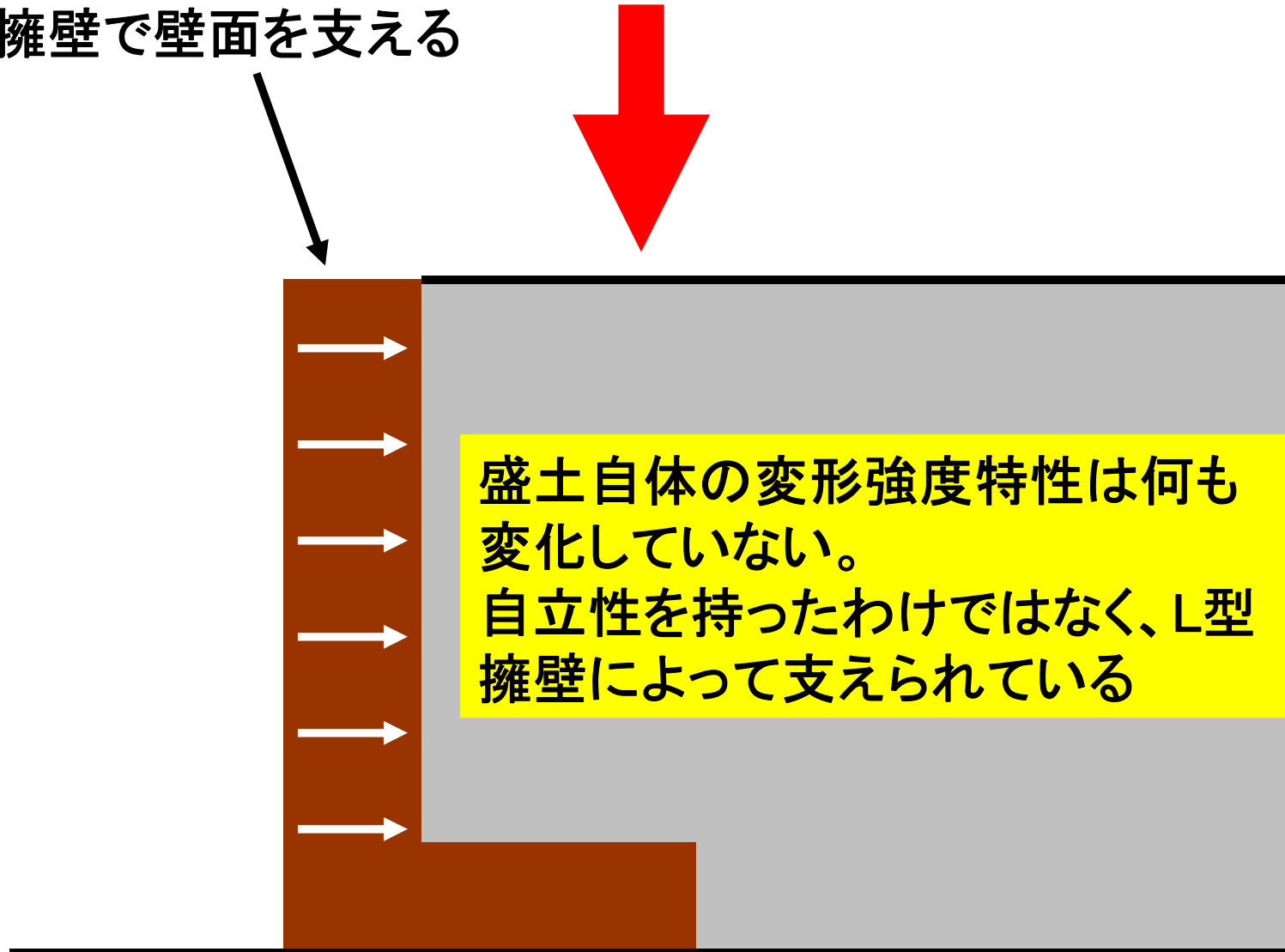
平らな地盤なら、
互いに支え合っているから
動かない。



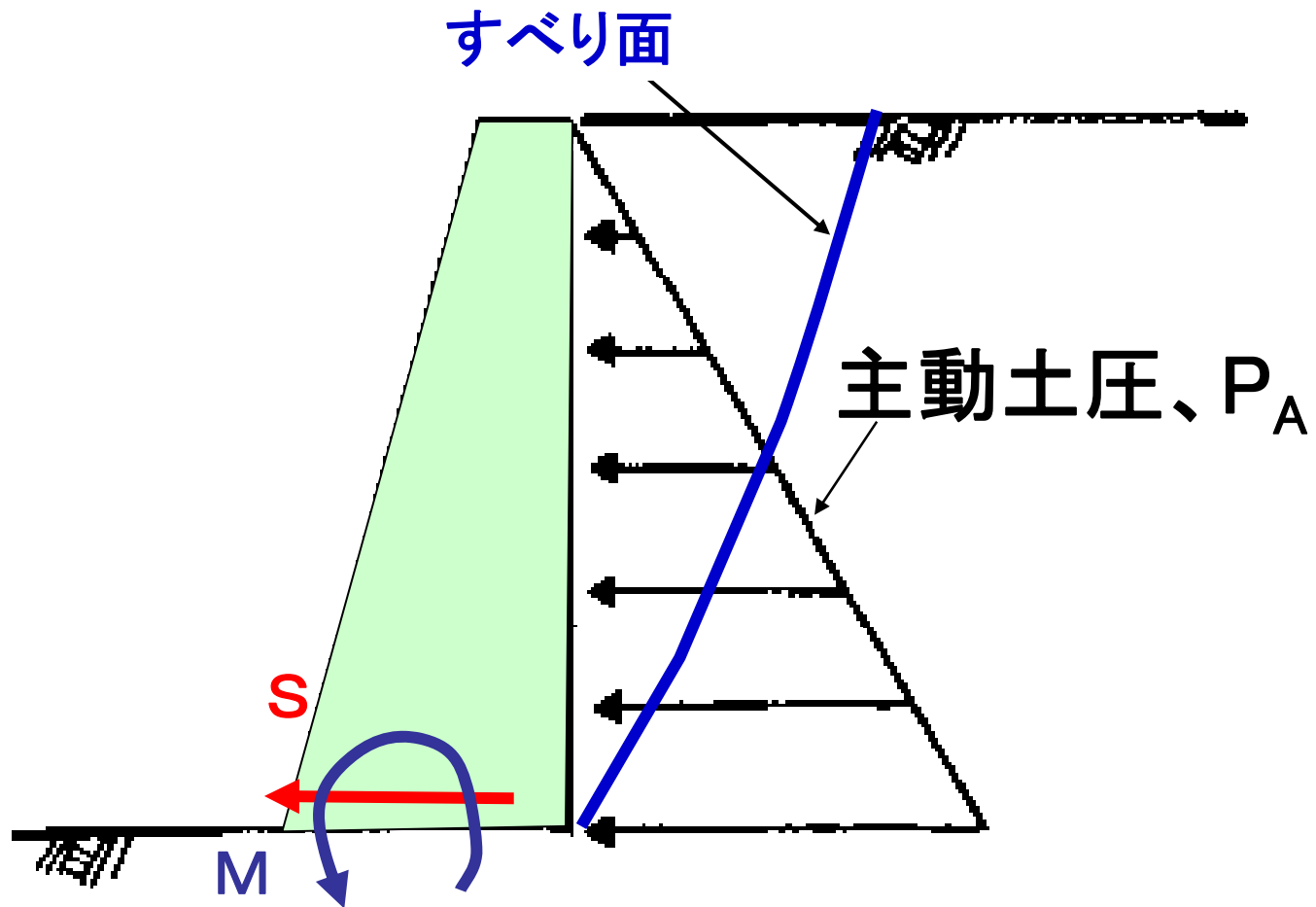
そのまま堀削して、
垂直な壁面を作ると、
崩れてしまう。

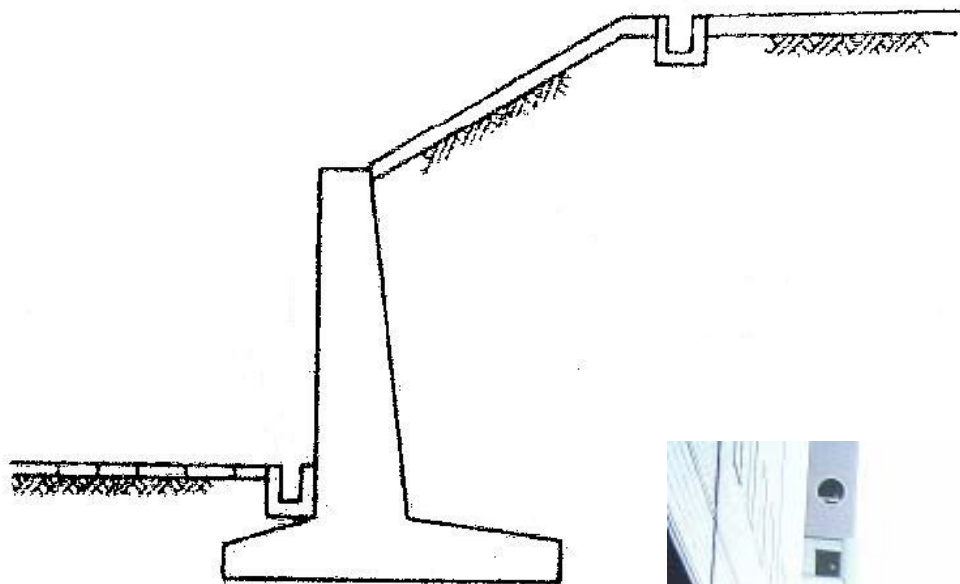


L型擁壁で壁面を支える



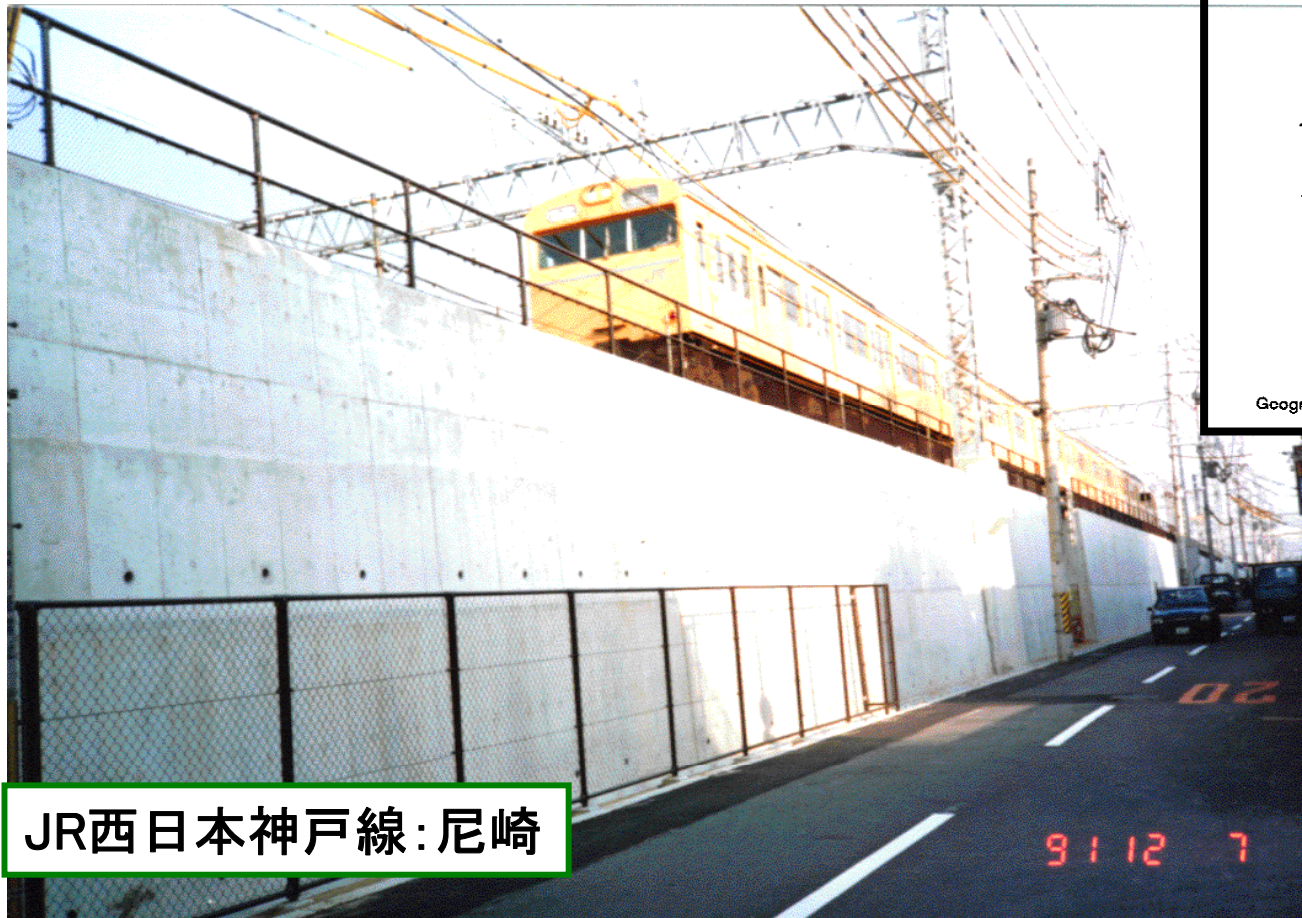
従来型擁壁



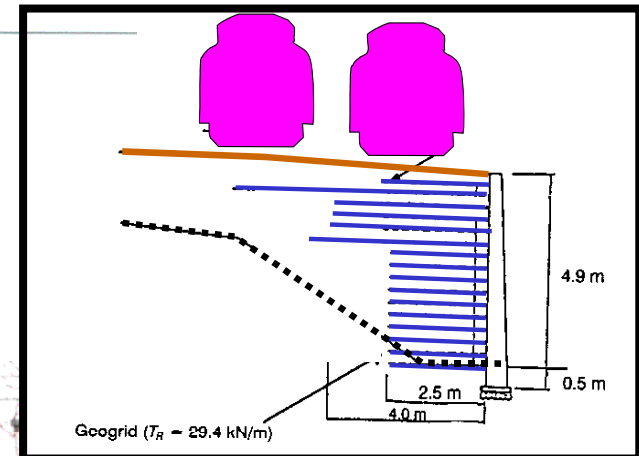


ジオテキスタイル補強土擁壁の例

- 見かけは、ふつうの鉄筋コンクリートの擁壁
- しかし、全く新しい形式の擁壁
 - a) 剛な壁面工を持ち、裏込め盛土はジオテキスタイルによって補強。
 - b) 現在まで、我が国で 80 km 以上の長さに亘って建設。

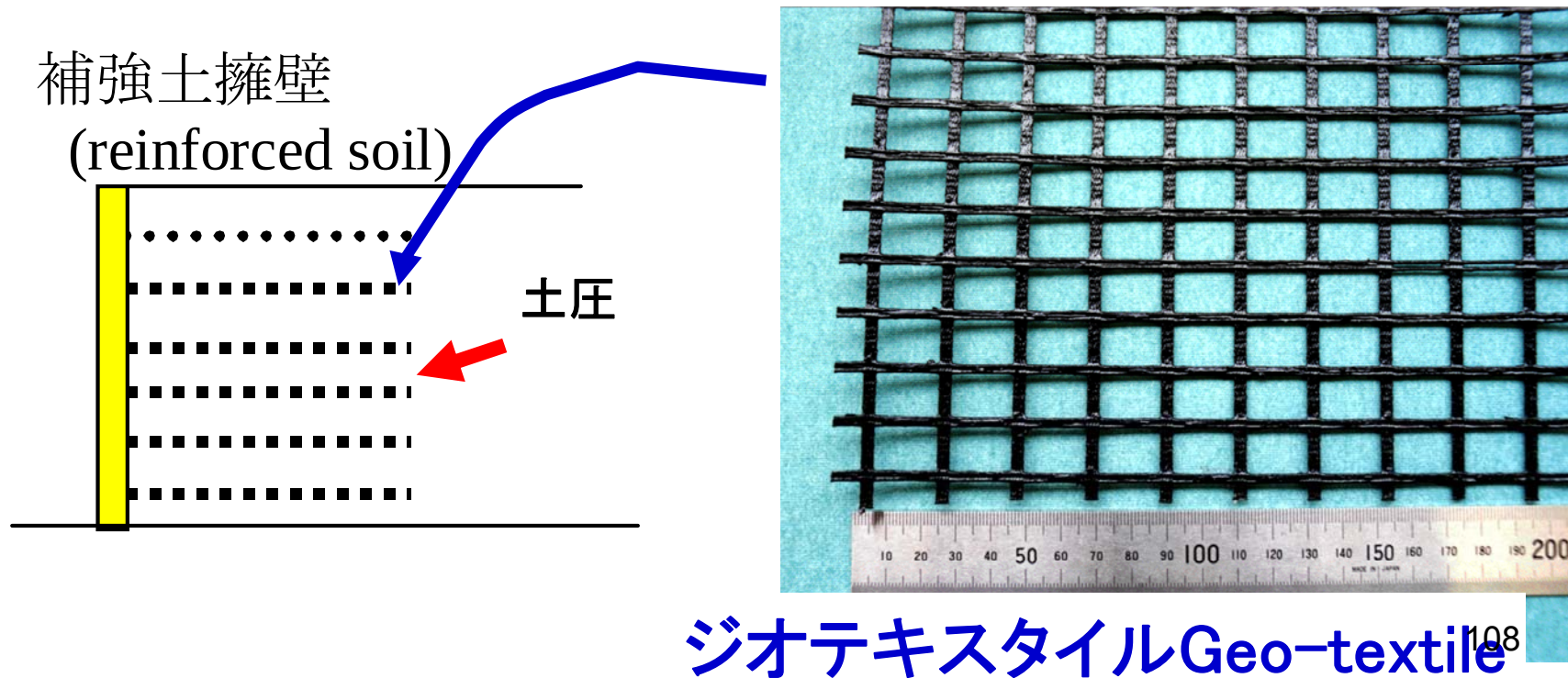


JR西日本神戸線: 尼崎



ジオテキスタイル補強土擁壁

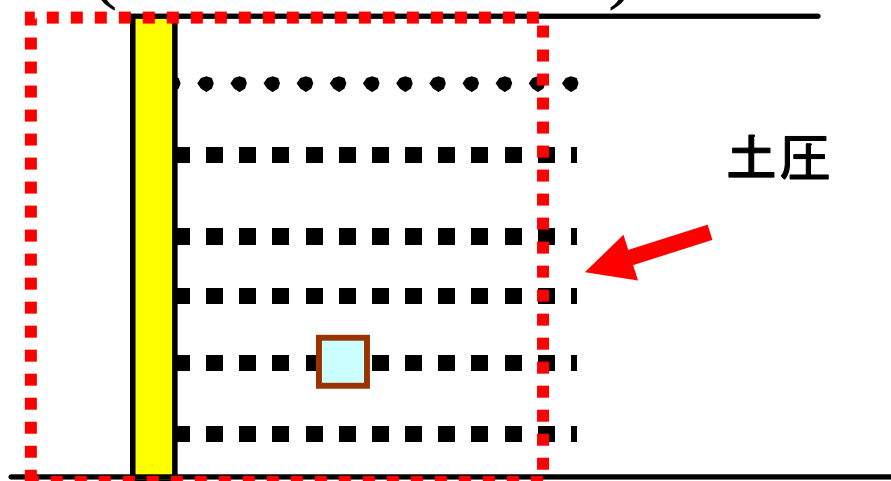
- ・補強土 (reinforced soil; 盛土が自立*)
 - * 補強土工法は巧みな工法である理由
- ・ジオテキスタイル Geo-textile
 - geo: 大地、 textile: 繊維



盛土の中の応力状態

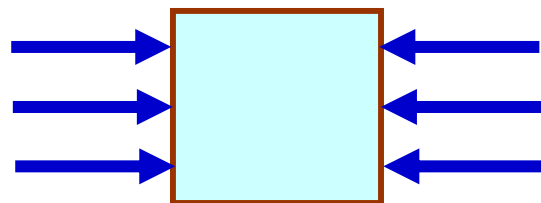
補強土擁壁

(reinforced soil)



補強領域は、土圧により
1) 前方に押し出され、
2) 水平方向に伸びる。

← → 補強材に作用する引張り力, T

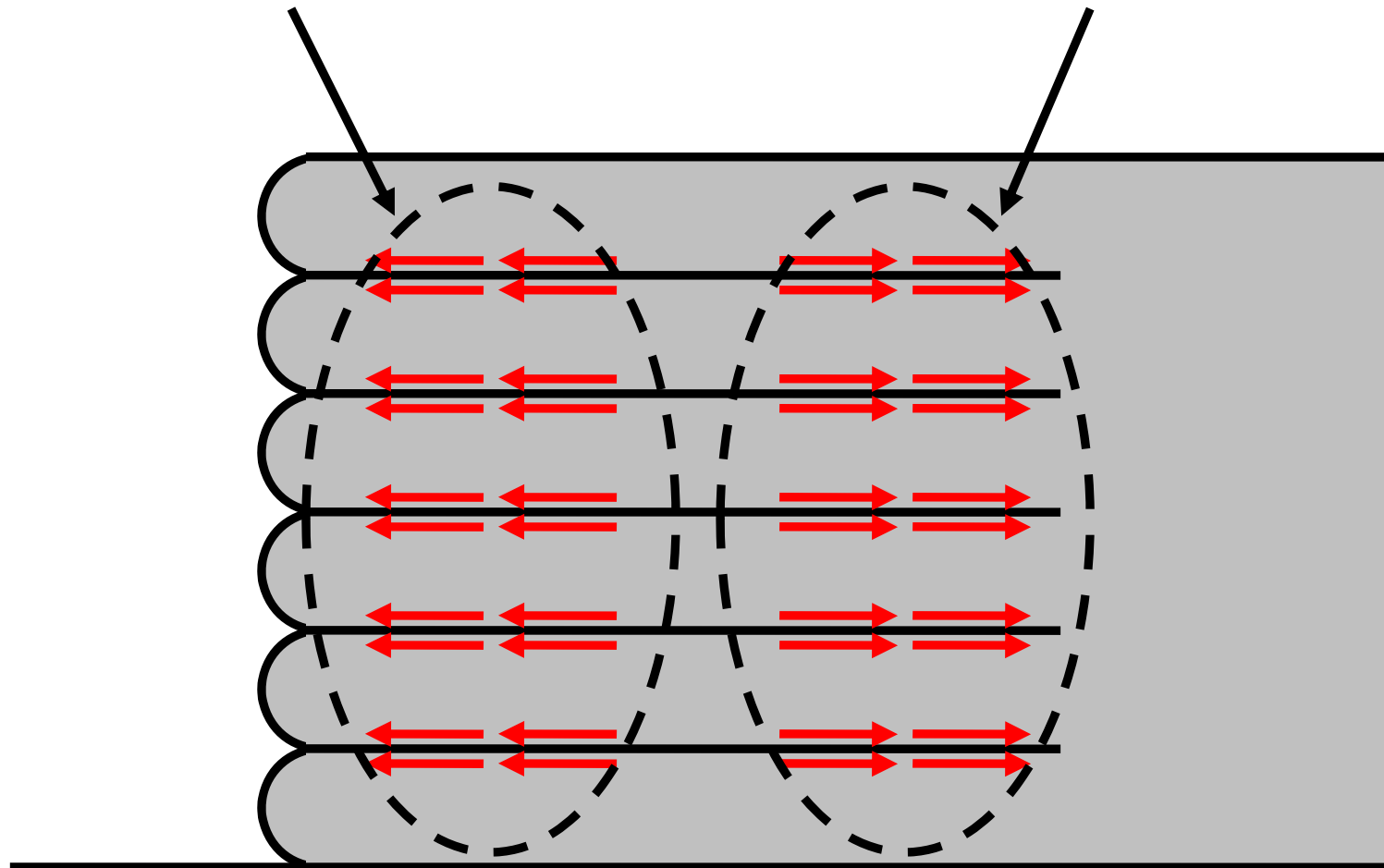


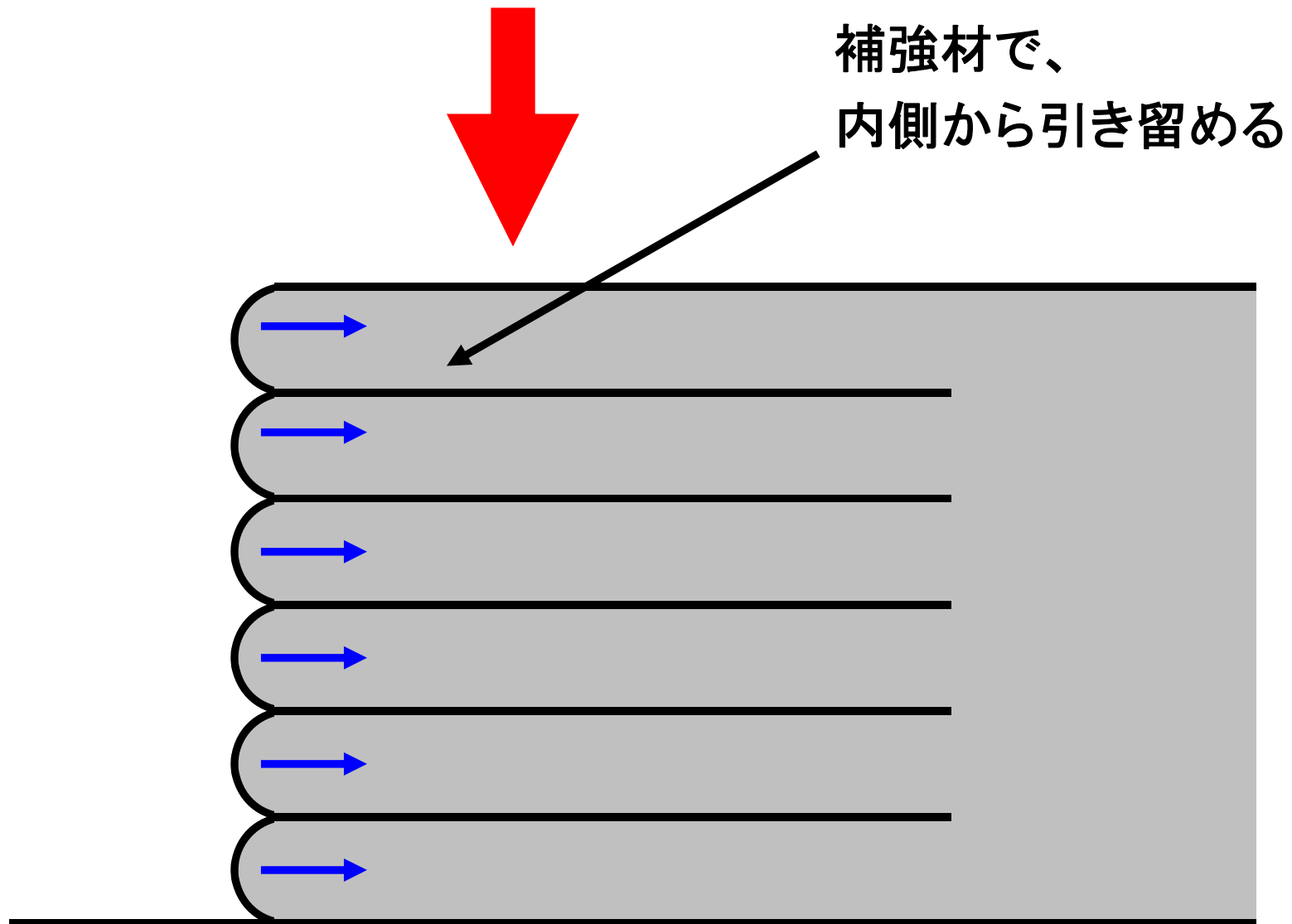
土の要素に対する拘束圧の発生。
これによって土のせん断強度が
増加することを期待している。

補強材とのまさつを介して綱引きをしている

崩れようとする土塊

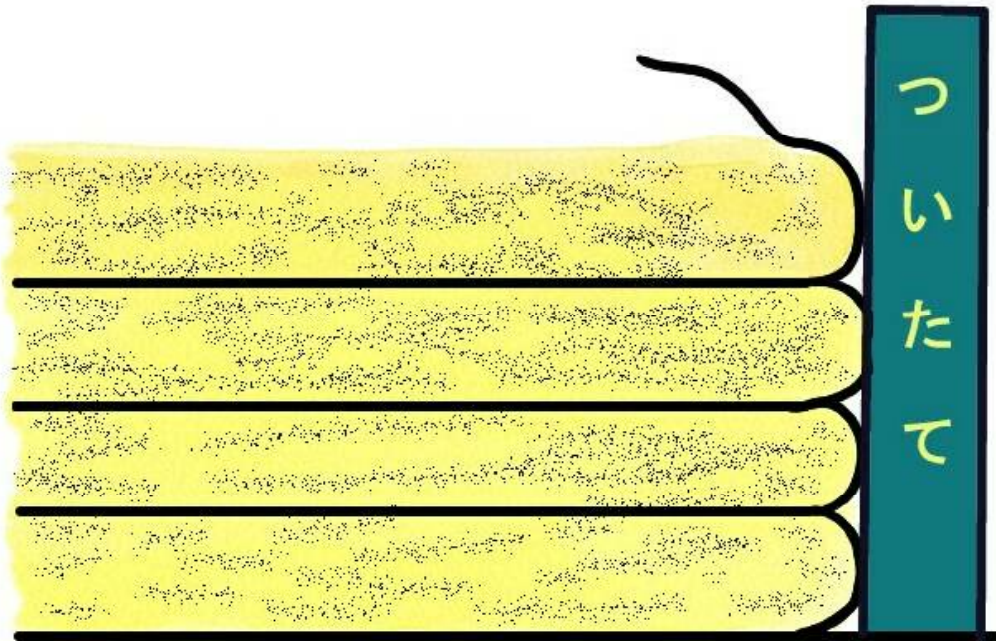
補強材を引き留める土塊





トイレツペーパーで擁壁を建設する

トイレトペーパーを用いた 補強土壁の実験





ジオシンセティックス {

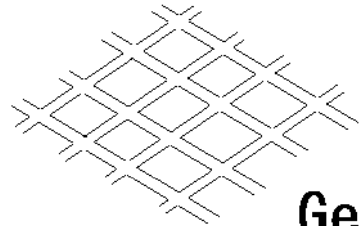
 ジオテキスタイル { 織布

 ジオグリッド

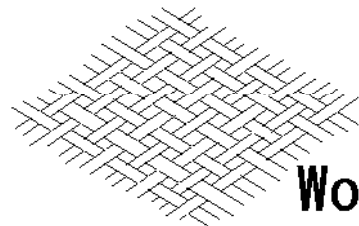
 不織布

 ジオメンブレン

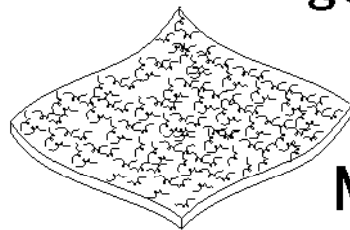
Geosynthetics
(Polymer fibers)



Geogrids

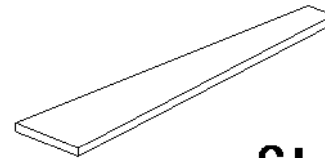


Woven
geotextiles

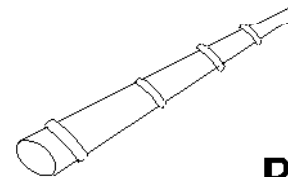


Non-woven
geotextiles

Metals

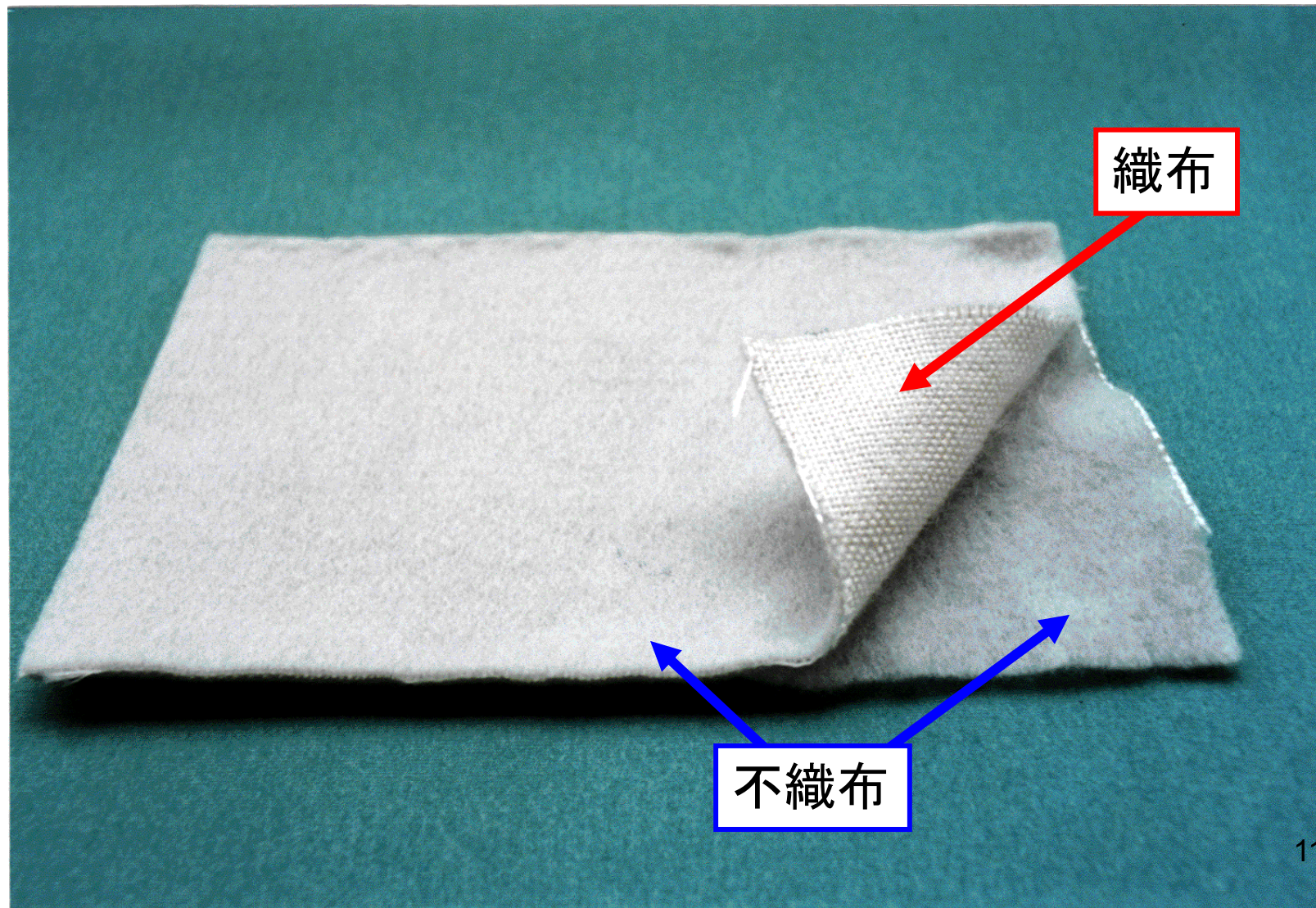


Strips



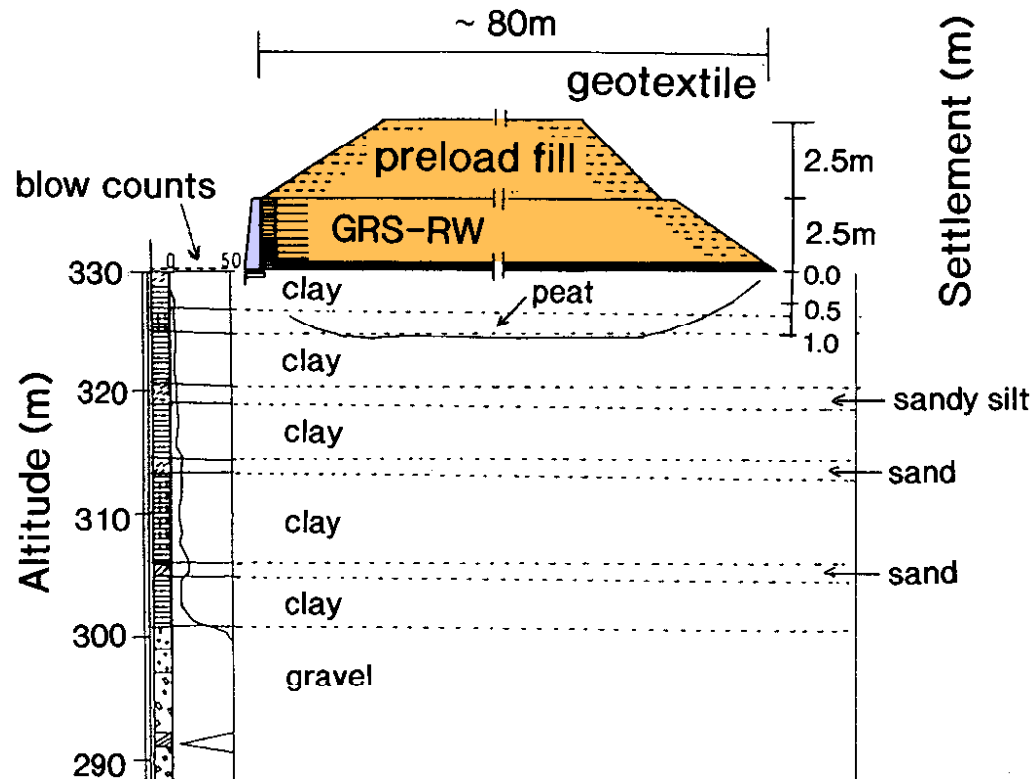
Bars

不織布・織布・その複合材料



補強土の柔軟性・材料の有効利用を示す例： 長野新幹線車両基地

非常に厚い軟弱地盤上の高規格盛土 + 高含水比の粘性盛土材
→ 1m以上の圧密沈下にも、柔軟に対応。



補強土工法の利点

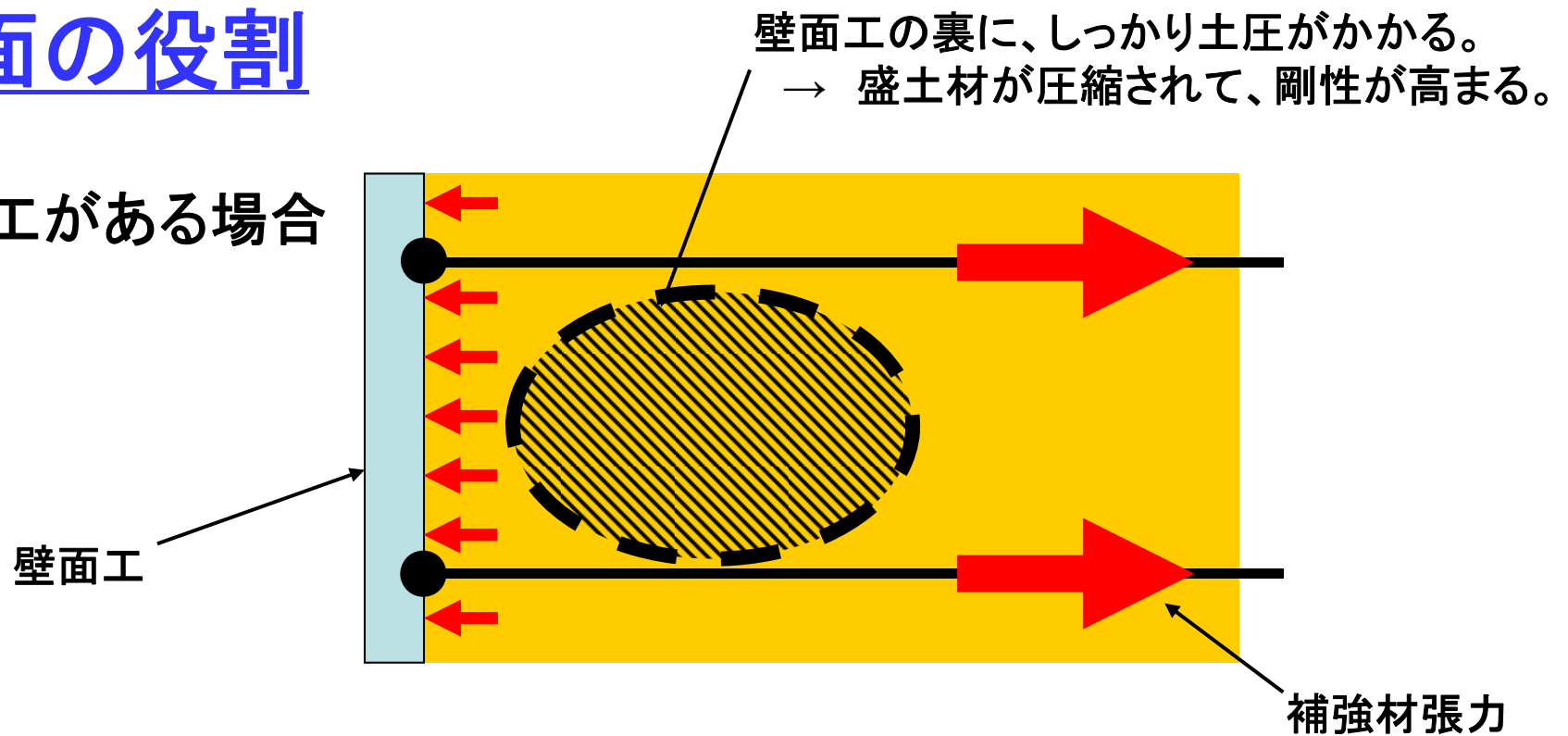
- ・ 無補強の地盤に比べれば、
地盤の強化・・・少ない変形、高い強度
- ・ コンクリートの構造物に比べれば、
低コスト ・ 現場発生土の有効利用。
変形に対して柔軟。
地震時の変形にも、安定に対応。
緑化もできる。

補強材の効果

- **引張り補強**
補強材の張力で、盛土材の変形を抑制する。
- **排水→圧密促進**
盛土材の間隙水の排水通路になる。
- **施工管理**
一定の間隔で敷設することで層厚管理ができる。

壁面の役割

壁面工がある場合



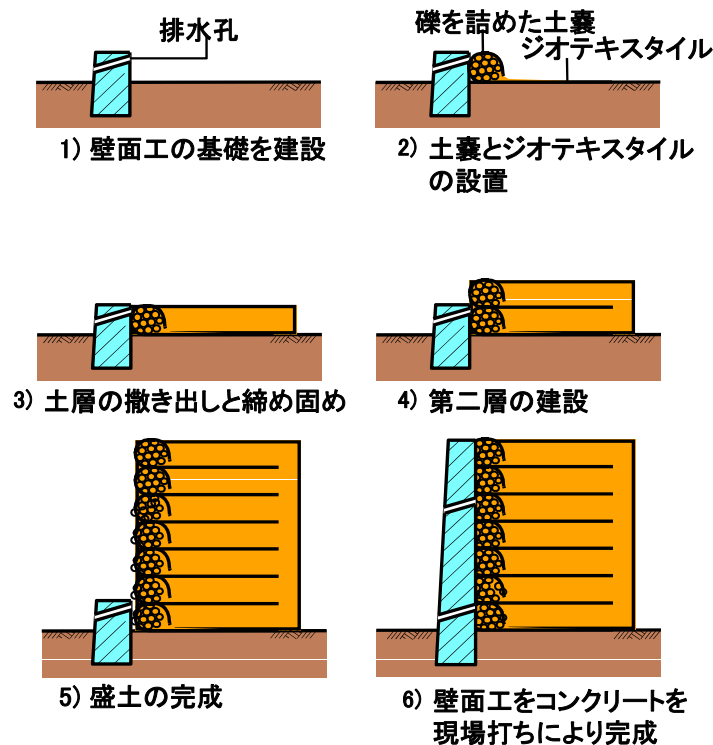
壁面工がない場合

拘束圧のない盛土材は、
無抵抗で崩壊する。

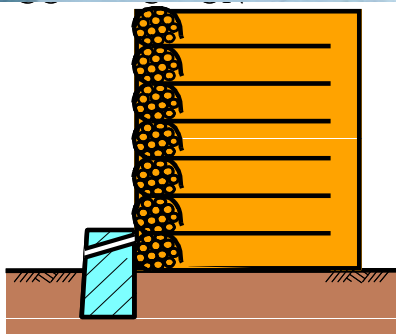


建設方法(段階施工);

- 1) 碎石等礫を詰めた俵を壁面に置き、それを引張り補強材(ジオテキスタイル geotextile)で包み、盛土内に補強材を配置して、盛土を締め固める。これを繰り返して、擁壁の盛土を完成。



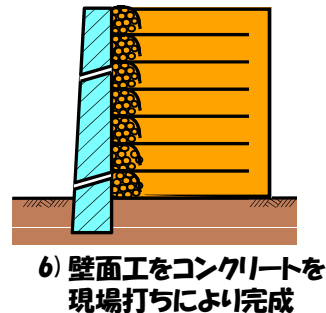
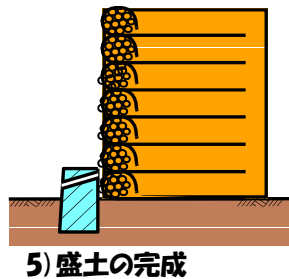
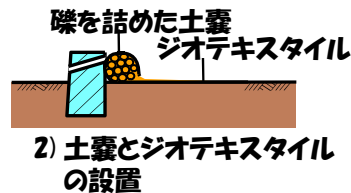
剛で一体の壁面工を建設する直前の段階



5) COMPLETION OF
WRAPPED AROUND
WALL

建設方法(段階施工);

- 1) 碎石等礫を詰めた俵を壁面に置き、それを引張り補強材(ジオテキスタイル geotextile)で包み、盛土内に補強材を配置して、盛土を締め固める。これを繰り返して、擁壁の盛土を完成。
- 2) 盛土と地盤の変形が収まるのを待ってから、薄い鉄筋コンクリート壁面工を、盛土と一体になるように現場打ちで建設。



まとめ

壁面のはたらき:

補強材の張力で、盛土に引き付けられる



盛土材の土圧が高くなる



(「土圧軽減」ではない!!!)

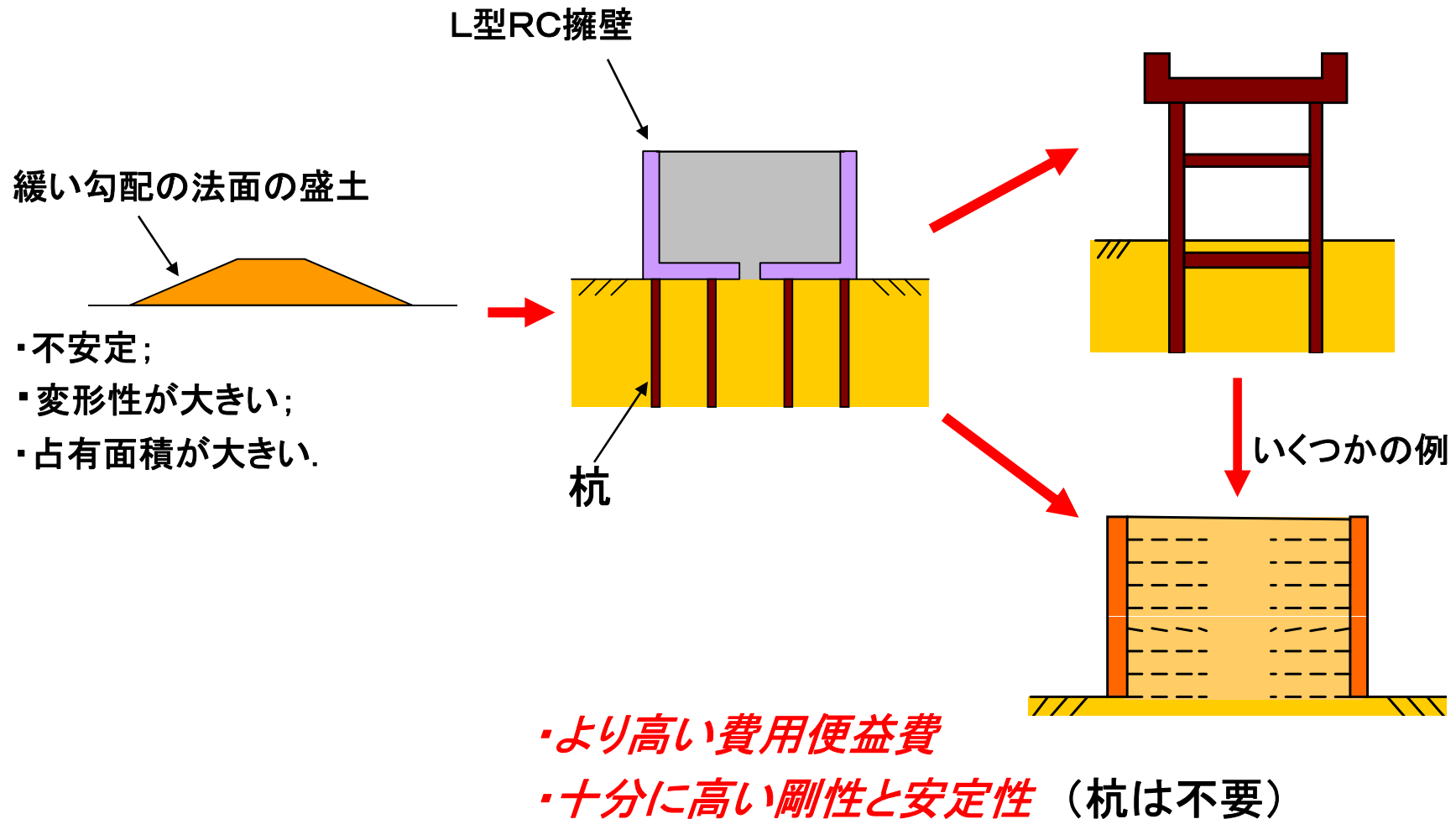
盛土が安定する

壁面は、高さごとに、補強材が支える



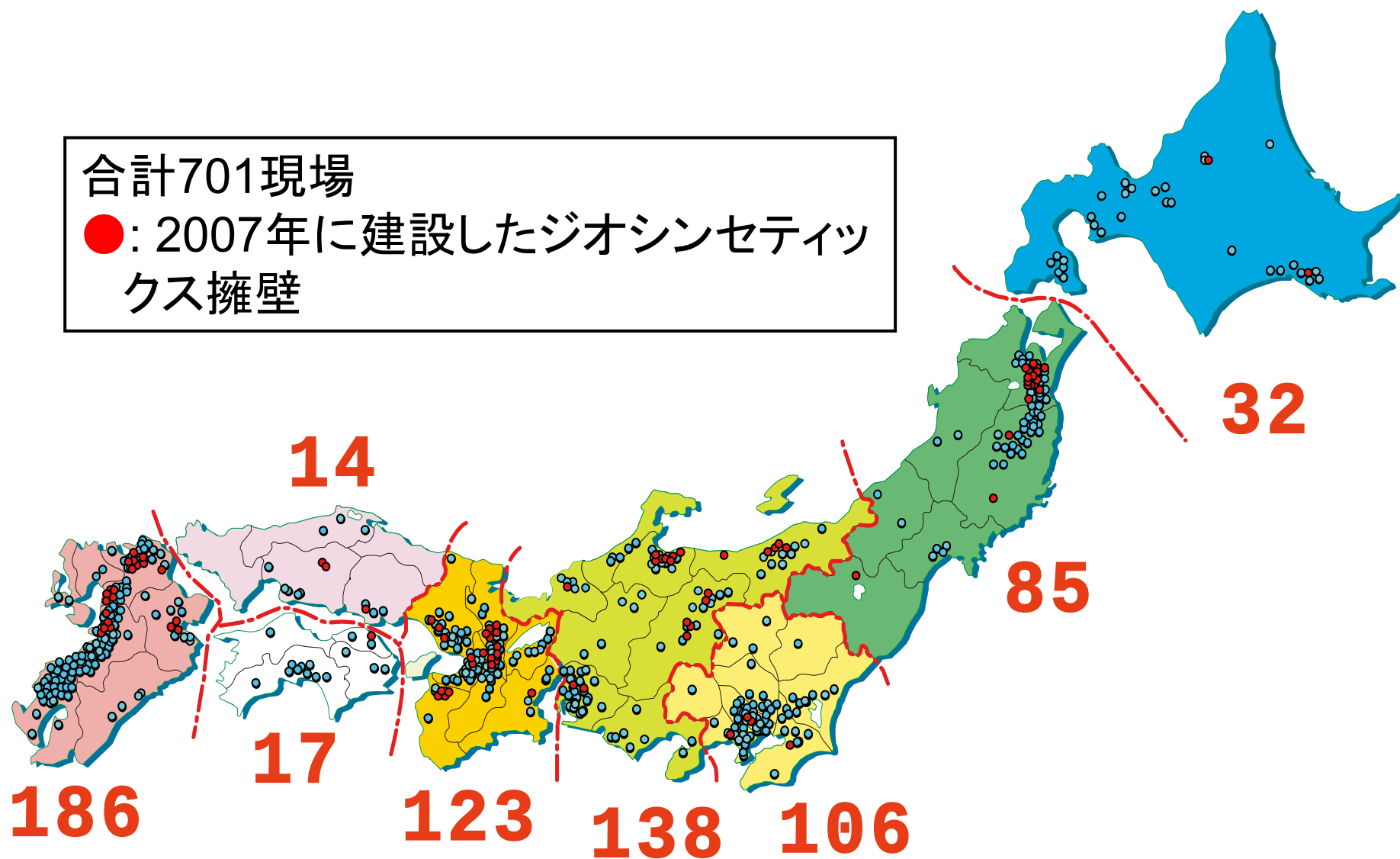
L型擁壁のような負担がかからないので、
簡単な構造にできる。

鉄道・道路における高架構造物の変遷



合計701現場

●: 2007年に建設したジオシンセティック
クス擁壁



2008年2月までに建設された「段階施工で建設された剛な一体壁面工を持つジオシンセティックス補強土擁壁」

1. 概論

1.1 地盤改良の重要性

1.2 地盤改良技術の例

1) 関西国際空港

- a) 沖積粘性土層：沈下を供用前に終了させておく(サンドドレイン、SCP等々とプレロード)
- b) 洪積粘土層：深く厚くて地盤改良が出来ない(大問題が残った)
- c) 埋め立て砂層：液状化防止(振動締固め等)

2) 東京湾横断道路

- a) 沖積粘性土層：安定と沈下防止(SCPと原位置セメント混合)
- b) 盛土：安定と変形防止(セメント混合土盛土)

3) 交通路の高架化、斜面に平地の創造：補強土工法

- a) 地山の急勾配化と安定：
- b) 補強土の擁壁

1.3 地盤改良工法の原理と分類

地盤を強化する目的

供用中、施工中の外力によって、
地盤を破壊させないこと。
過度の変形をさせないこと。

土構造物に、必要な形状を保たせたり、
必要な構造物を支えさせたりすること。

地盤を強化する方法

土の密度を高める方法……締固め、圧密（排水）

粒子間の結合を強める方法

……薬液注入、セメント改良土

土以外の部材を挿入する方法

……地盤改良杭、アースアンカー、

……補強土工法

・地山補強土工法

・盛土補強土工法

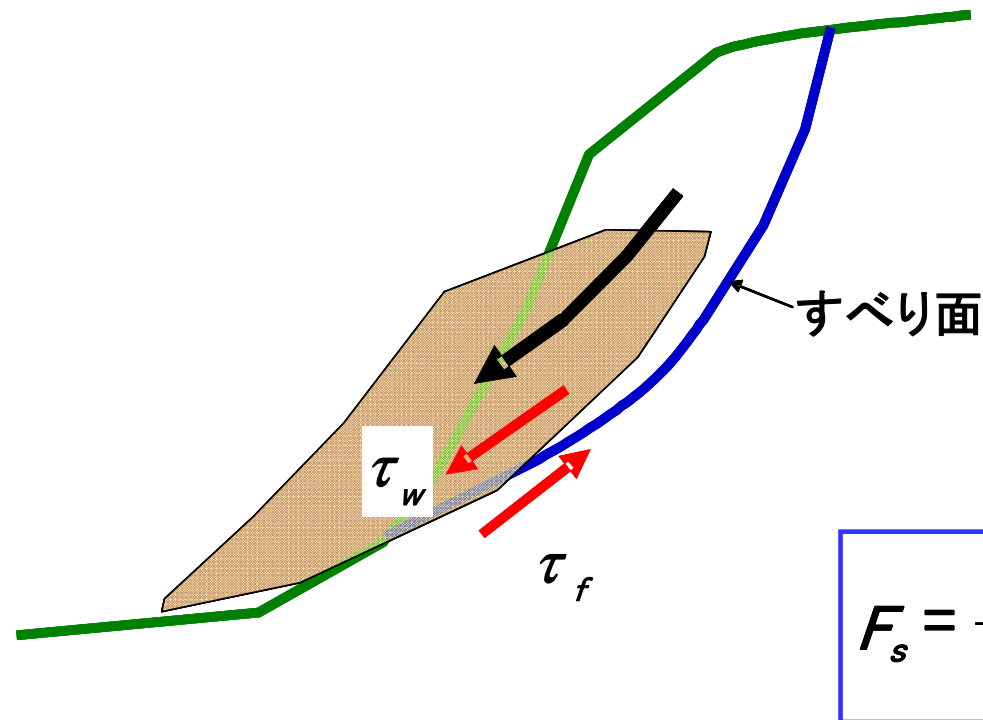
無補強斜面の安定計算

$$F_s = \text{Min.} \left[\frac{\sum (\sigma \cdot \tan \phi \cdot l)}{\sum (\tau_w \cdot l)} \right]$$

(c= 0を仮定)

安全率:

設定された値(例えば, 1.2)以上
になるように設計



地盤改良工法の目標

- 1) 地盤改良による、破壊に対する安全率 $F_s = \frac{\tau_f}{\tau_w}$ の増加

及び

- 2) 変形 (例、土のせん断ひずみ $\gamma = \frac{\tau_w}{G}$ 、
と直ひずみ $\varepsilon = \frac{\sigma_w}{E}$) の減少

- 土質力学の原理に基づいた考察:

1) 土のせん断強度,

$$\tau_f = c + (\sigma - u) \cdot \tan \phi = \left\{ \frac{c}{\tan \phi} + (\sigma - u) \right\} \cdot \tan \phi$$

2) 土のせん断剛性率,

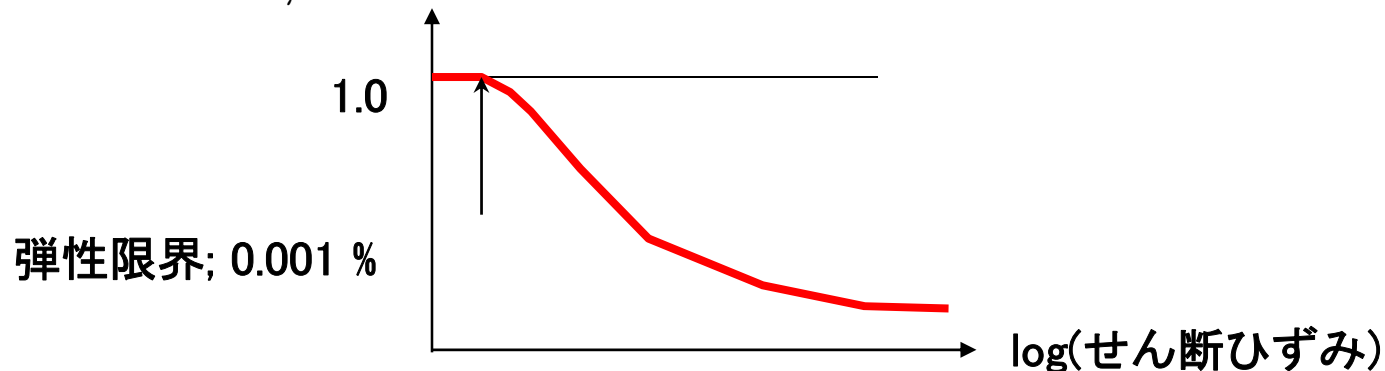
$$G = f_t(\text{土の種類}) \cdot f_e(\text{間隙比}) \cdot f_\gamma(\text{せん断ひずみ}) \cdot (\sigma + c_G - u)^m$$

i) 乾燥砂; $c_G = 0$ and $u = 0$.

ii) $f_e = \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e}$ (砂礫);

iii) $m \sim 0.5$ (未固結土).

iv) f_γ (せん断ひずみ)



-土質力学の原理に基づいた地盤改良技術の分類:

破壊に対する安全率 F_s を増加し、せん断ひずみ γ を減少する方法:

- 1) せん断強度 τ_f とせん断剛性率 G の増加
- 2) 作用せん断応力 τ_w の減少
- 3) 両方

土のせん断強度 τ_f とせん断剛性率 G の増加法:

1) 粘着力 c 、粘着力係数 c_G の増加: 例) セメント混合

2) 拘束圧 σ の増加: 例) 引張り補強*、プレストレス有無

3) 間隙水圧 u の減少: 例) 地滑り防止のための斜面内排水パイプ、井戸、

- ・砂層の液状化防止のために礫杭 gravel drain

- ・プレロード工法や締固めによる非可逆体積収縮特性の減少

→ せん断時の正の過剰間隙水圧 Δu の減少 (軟弱粘性土、緩い飽和砂層)

4) 間隙比 e の減少: 例) 緩い飽和砂層に対する振動締固め、軟弱粘性土地盤のプレロード工法

$$\text{土のせん断剛性率、} f_e = \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \quad ; \quad \text{砂の内部摩擦角、} \tan \phi \approx \frac{k}{1 + e}$$

5) 作用せん断応力 τ_w の減少: 例) 軽量盛土工法、引張り補強*

* 引張り補強土工法: 2) と 5)

引張り補強土工法における力の釣り合い

$T \cdot \cos \theta$: 拘束圧 σ を増加、従ってせん断強度 τ_f を増加
(締付け効果)

$T \cdot \sin \theta$: 作用せん断応力 τ_w を減少(吊り上げ効果)

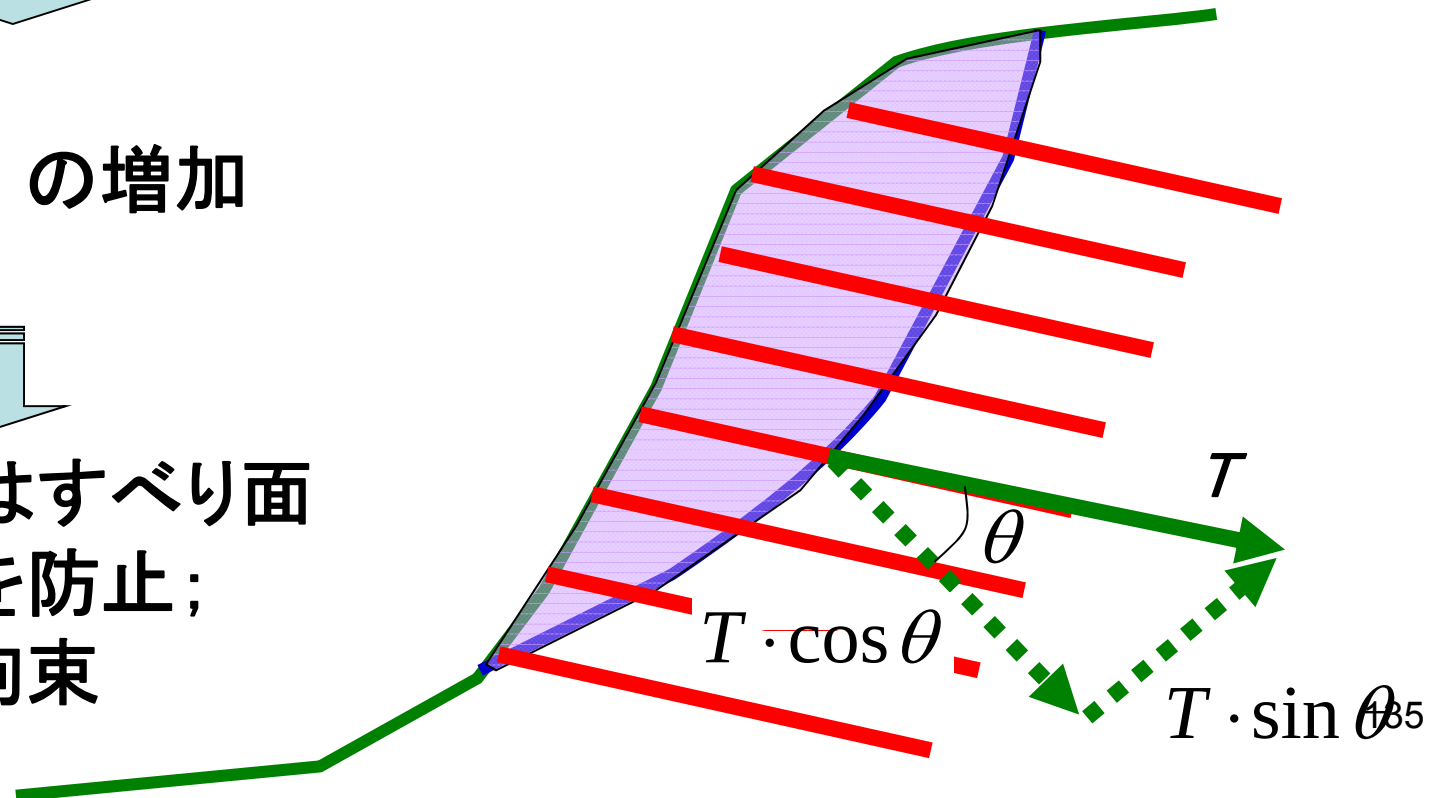
↓

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_w}$$

の増加

↓

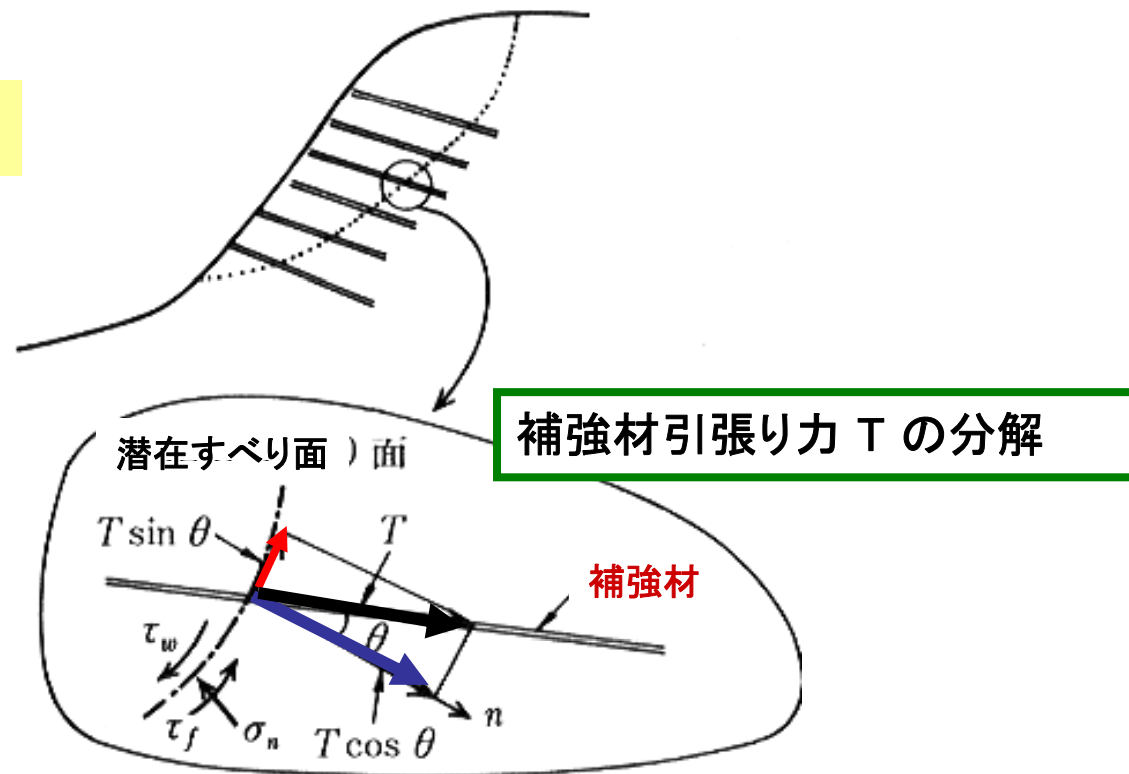
補強材はすべり面の
の発生を防止;
変形を拘束



補強土の安定計算

$$F_s = \text{Min.} \left[\frac{\sum (\sigma \cdot \tan \phi \cdot l + T \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi)}{\sum (\tau_w \cdot l - T \cdot \sin \theta)} \right]$$

補強土



必要で、より良い土構造物をより経済的に、地球環境にも貢献

