補強土工法の基礎から応用まで
－ RRR工法の歴史と特徴 －
（全編12回）

1. 地盤・盛土の強化改良の必要性と補強土工法の概説

2. 盛土補強土工法による土構造物の復権と発展
   － 補強土の原理と40年の経験 －

3. 地山補強土工法による斜面の安定化

東京大学・東京理科大学名誉教授
龍岡文夫

こんにちは。龍岡と言います。教育者、研究者、技術者として、この40年間、地盤強化と改良工学の研究と現場問題の設計・施工の諸問題に関わってきました。この一連の講義は、その総括であり、地盤強化・改良工学の一つである補強土工法に関する私の知識と経験を伝えたいと思います。

この講義のテーマは、この三つです。講義の内容は、全てノート付きのPower Point(PPT)のPDF fileになっていますので、それを順次見て下さい。

また、このPPTファイルの内容を音声で説明したビデオファイルも用意してあります。

補強土工法の基礎から応用まで
－　RRR工法の歴史と特徴－

このPower PointファイルNo.1～No.12は、東京理科大学土木工学科3年生の授業課目「地盤強化改良工学」の2020年度遠隔授業のために作製したファイルの一部を編集し直したものです。

盛土補強土工法と地山補強土工法の基礎から応用までを説明しており、補強土工法に馴染みが無かった方でも基礎から学べるようになっています。同時に、RRR工法の由来・歴史を最初から説明しつつ、実工事例を示してRRR工法の特徴を説明しており、ベテランの技術者にも参考になるように記述・編集しました。

各回のファイルは、①音声が無いが図に対する説明文がついたPDFファイルと、②複数の音声付きビデオファイルで構成されています。どちらでも、あるいは両方を活用して下さい。

ここでの文章、図、写真の殆どは龍岡が執筆・作製したものですが、他の方・機関が作製したものも多いので、引用・転載を希望する方はRRR協会事務局RRR@igi.co.jp にE-mailでお問い合わせ下さい。

これは、この講義の説明です。

補強土工法の基礎から応用まで
－ RRR工法の歴史と特徴 －
（全編12回）No.1

1. **地盤・盛土の強化改良の必要性と補強土工法の概説**

2. 盛土補強土工法による土構造物の復権と発展
   － 補強土の原理と40年の経験 －

3. 地山補強土工法による斜面の安定化

まず、
1. 地盤・盛土の強化改良の必要性と補強土工法の概説です。

地盤・盛土の強化改良を必要とする社会的背景 － 1

我国の宿命： 狭い（特に海岸平地）、山国、地震と豪雨・洪水、高度に発展した社会

1）狭く地盤条件が悪い国土を有効利用する必要：
・急峻な山岳地で斜面に構造物を建設、狭い平地の都市部
・海岸地帯の活用、埋立て地が必要：
　厚い沖積軟弱粘土層、液状化しやすい砂質土の盛土
→地形・地盤条件が悪い場所に、道路・鉄道、住宅・産業施設、空港等を建設しなければならない

2)厳しい自然災害（地震、豪雨・洪水等）に対して強靭な社会
・市民生活、経済活動を支える社会基盤設備が必要

これは、わが国で地盤の強化改良工学を必要とする理由をまとめたものです。

これらの1)と2)、次頁の3)と4)を読んでください。

地盤・盛土の強化改良を必要とする社会的背景-2

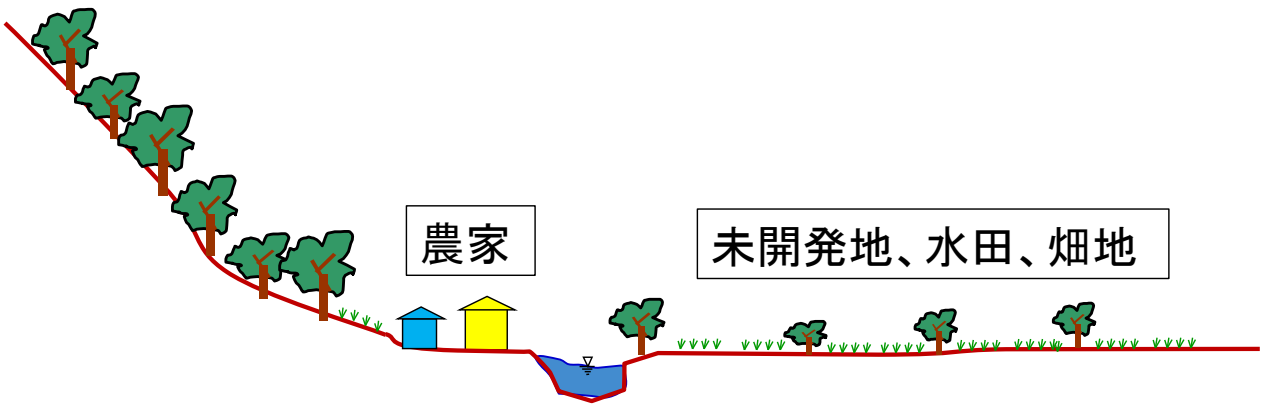
3)高い機能とともに、費用対効果が良いことが必要
- 効果的な変形抑制と破壊防止（特に地震、豪雨・洪水に対して）
- 迅速な建設（時は金なり、命なり）、低い建設・維持管理費

4)自然環境の保持
- 出来る限り自然状態を保持（例：山間部の道路、鉄道の建設において）
- 土の効果的活用による総建設エネルギーの減少（掘削土の有効利用、なるべく鉄とコンクリートを用いないで排出CO_2量の減少）

しかし、この説明は抽象的な表現なので分かりにくいと思います。

具体的な例を、次頁以降で示します。

地盤・盛土の強化改良を必要とする社会的背景の例

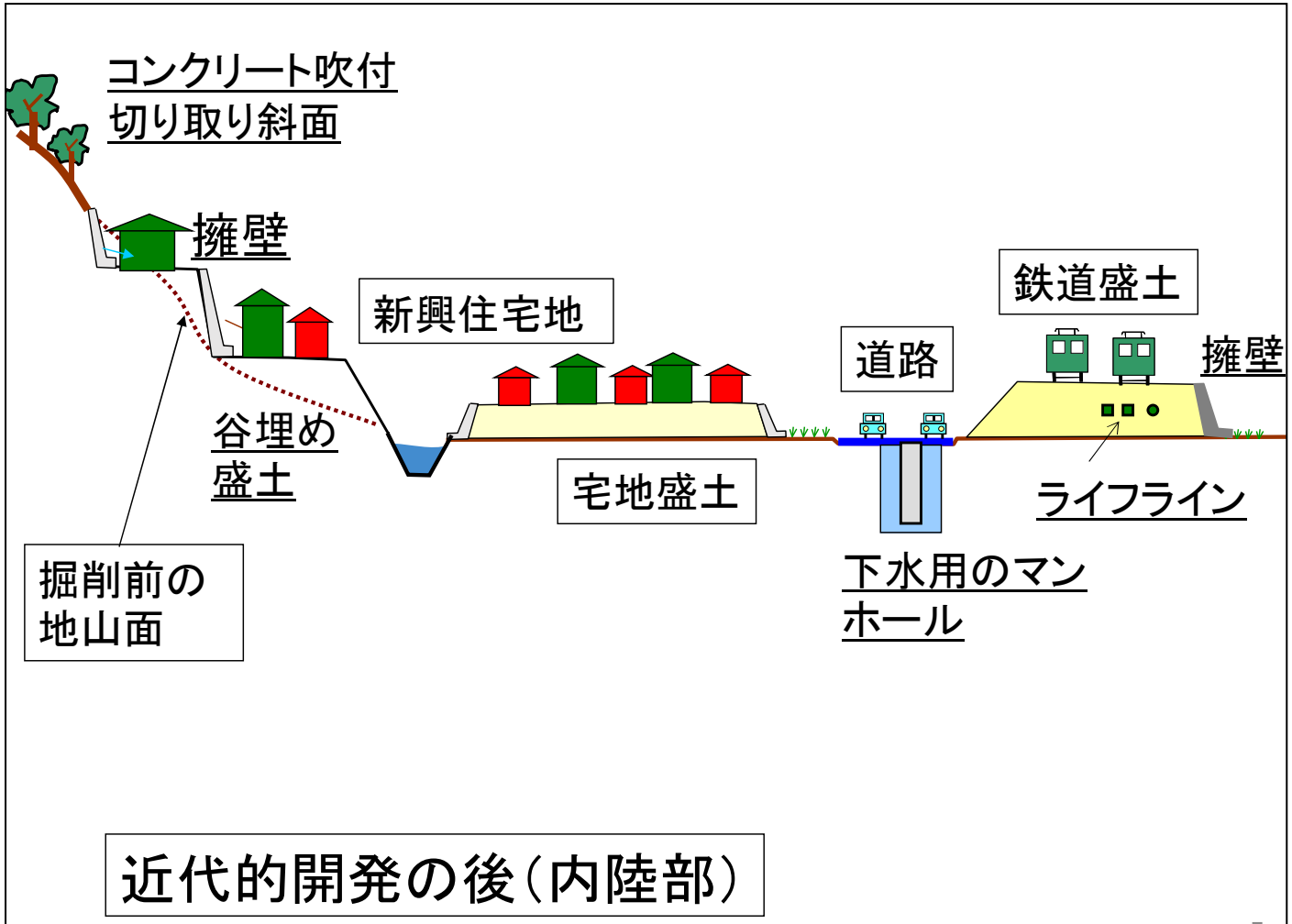


近代的開発の前（内陸部）

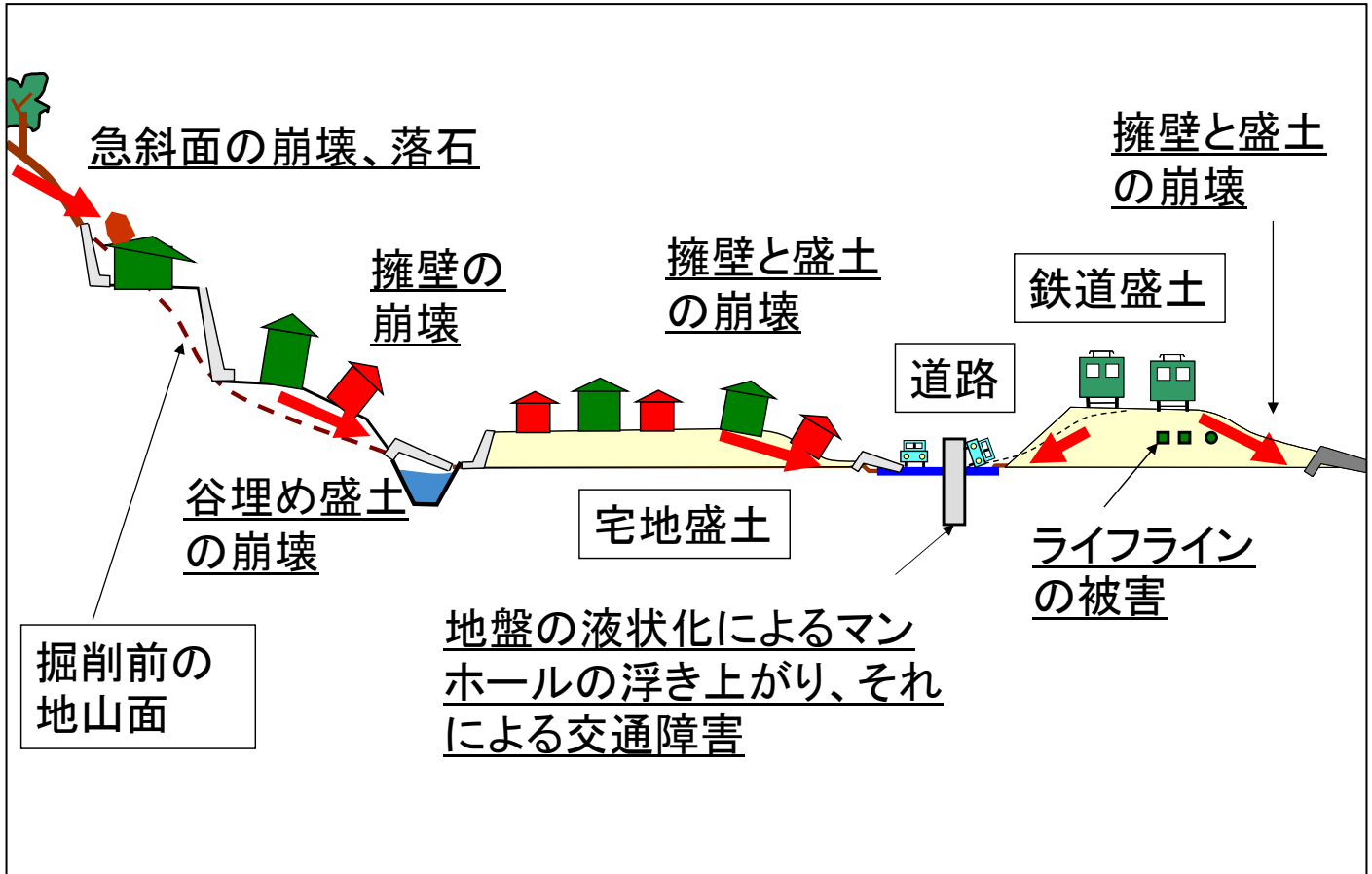
ここで、地盤の強化改良工学を必要とする社会的背景を、具体的に考えてみましょう。

まず、社会が開発されていなければ、自然災害は生じないか、生じても激甚化しません。

災害は、社会が開発され高度化されて、初めて生じるのです。



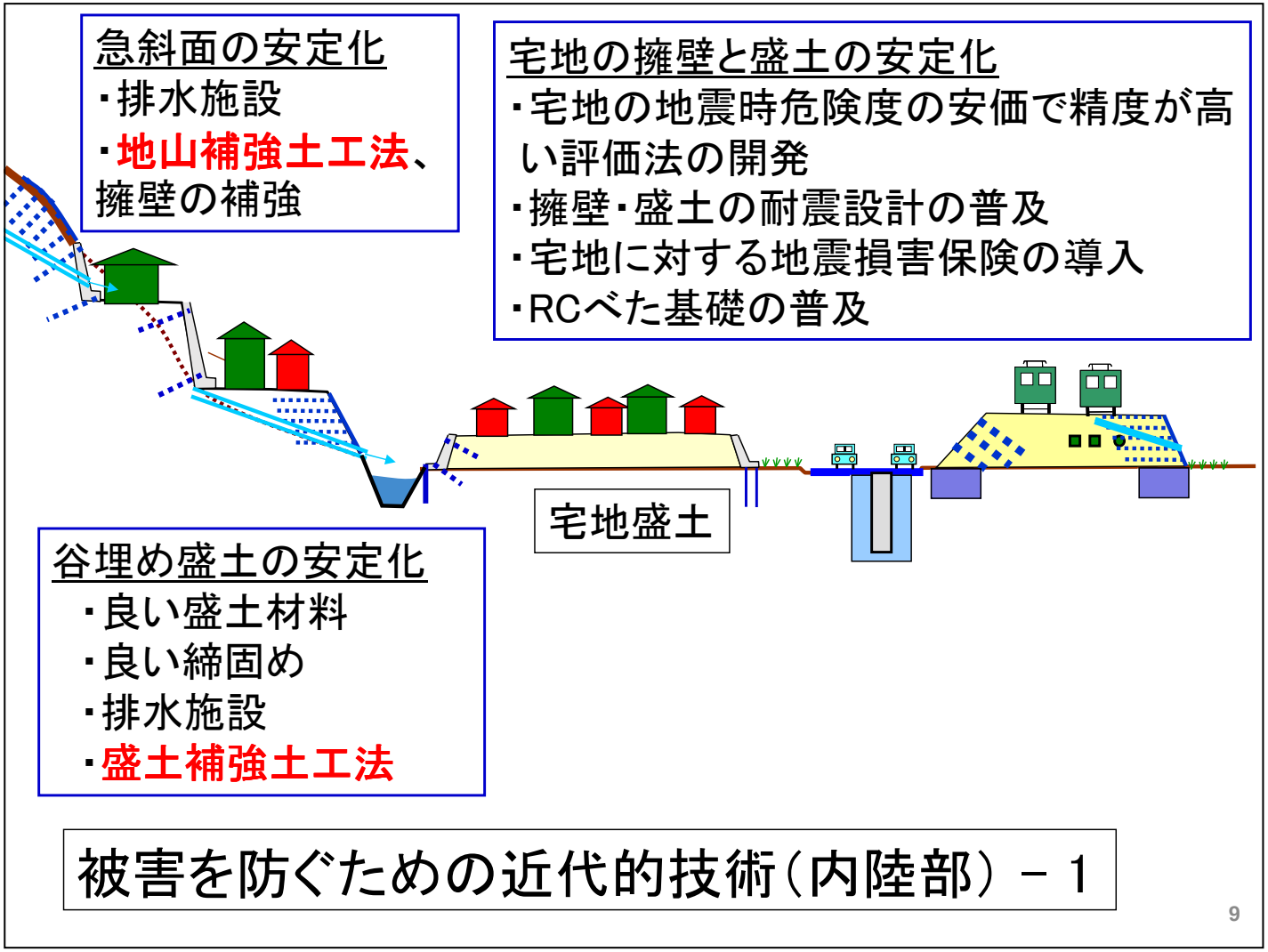
このように開発が進むと、社会は便利になりますが、一方で自然災害を受けやすくなります。



近代的開発後の様々な地盤災害（内陸部）

これまで建設された社会基盤構造物は、古い技術によって開発された物が多い。あるいは高度成長期に経済性を優先して開発された物が多い。

このように開発された社会は、自然災害が生じやすく、生じた場合は激甚化しやすい。



社会が自然災害に対して強靭になるように、かつ、効率的・経済的に開発を進める必要があります。

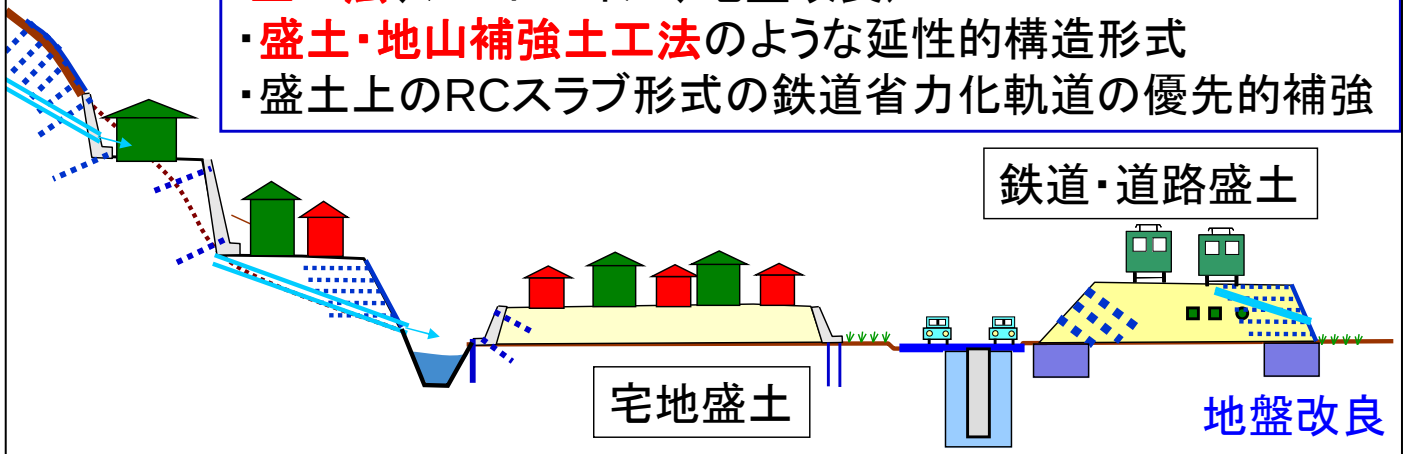
それには、この図で赤の字で示すように、地盤強化・改良工法が活用する必要があります。

道路・鉄道盛土の安定化

・盛土・擁壁の耐震診断と耐震補強（排水施設、**地山補強土工法**、シートパイル、地盤改良）

・**盛土・地山補強土工法**のような延性的構造形式

・盛土上のRCスラブ形式の鉄道省力化軌道の優先的補強



地盤の液状化によるマンホールの浮き上がりの防止

・埋め戻し材の選択（礫質土）、締固め、セメント混合

ライフラインの被害を防ぐ

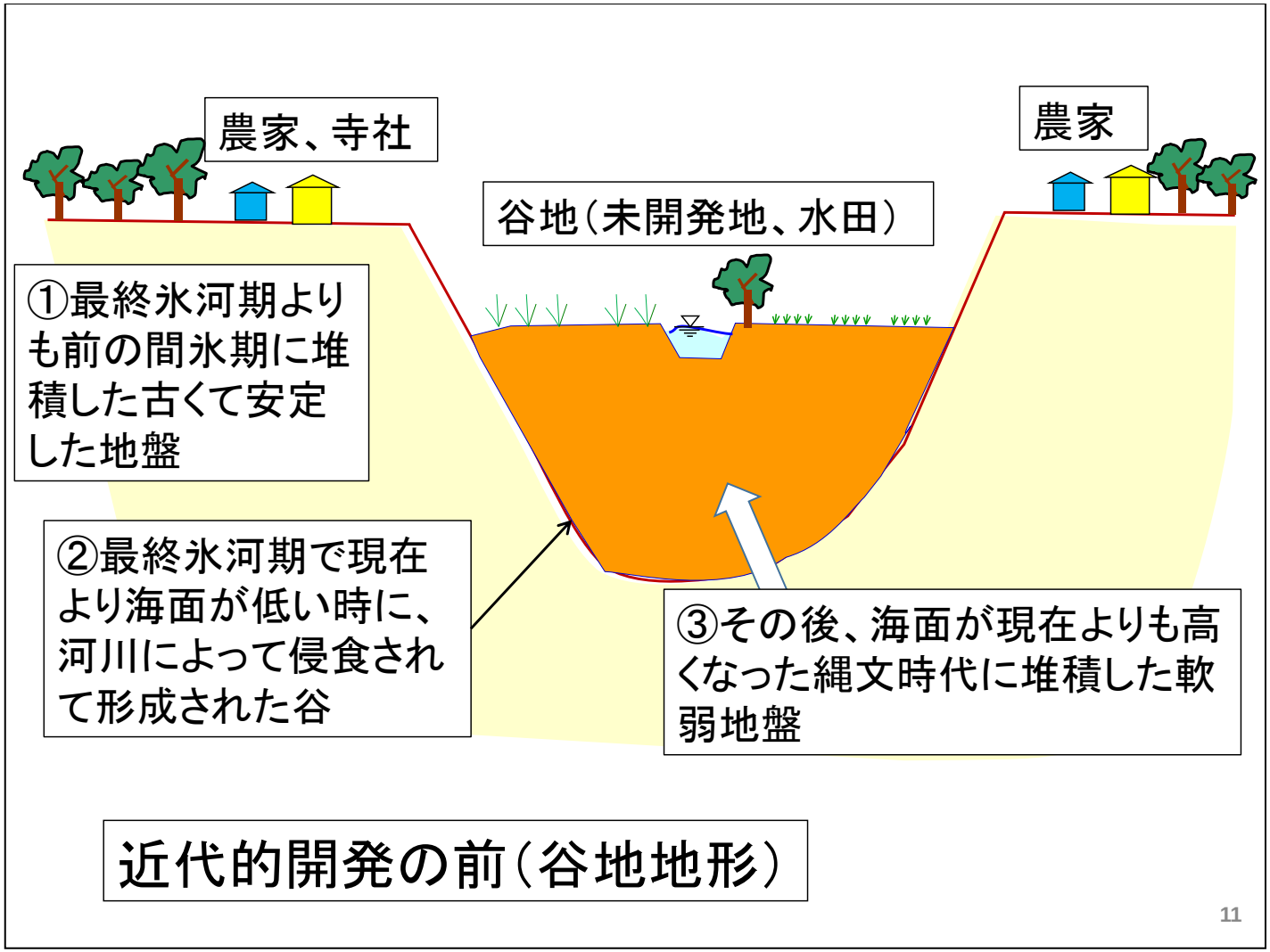
・道路等へ影響の考慮して設計施工

・被害箇所の検知法の効率化

被害を防ぐための近代的技術（内陸部）−2

この図も、社会が自然災害を受けないように、かつ、効率的・経済的に開発を進めために、

赤の字で示すように、地盤強化・改良工法が活用できることを示しています。



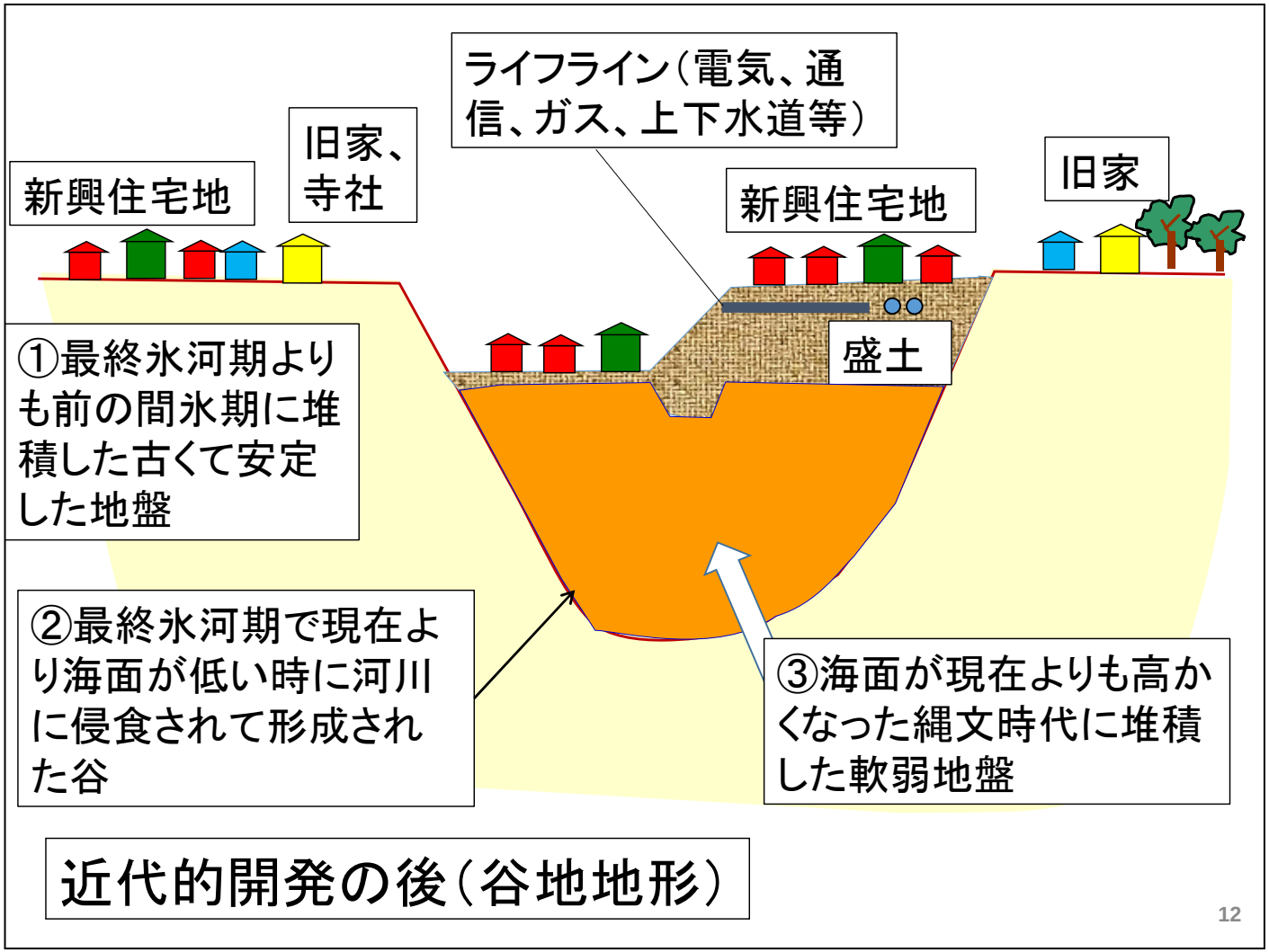
この図は、いわゆる谷地（やち）の地質学的な構造を示したものです。

このような土地は、東京都・千葉県・神奈川県に多く、日本全国でも各地にあります。

①，②，③が谷地の形成の歴史です。

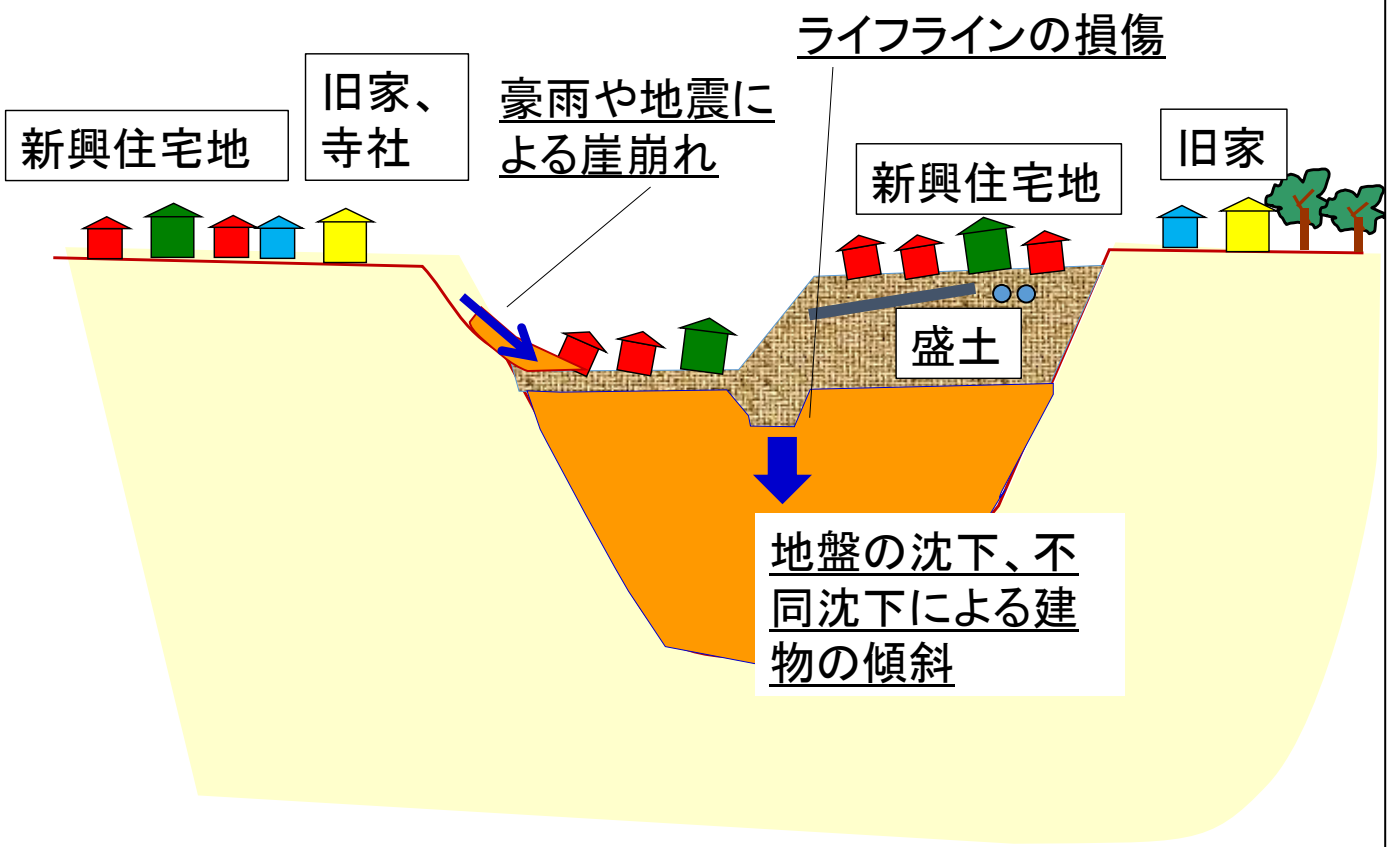
開発が進む前は、人々は自然災害を受けにくい安定した古い地盤の上、その端部に住んでいてました。

谷地は未開発か水田として利用していました。



社会が開発されると、自然災害を受けやすい谷地に住み始めました。

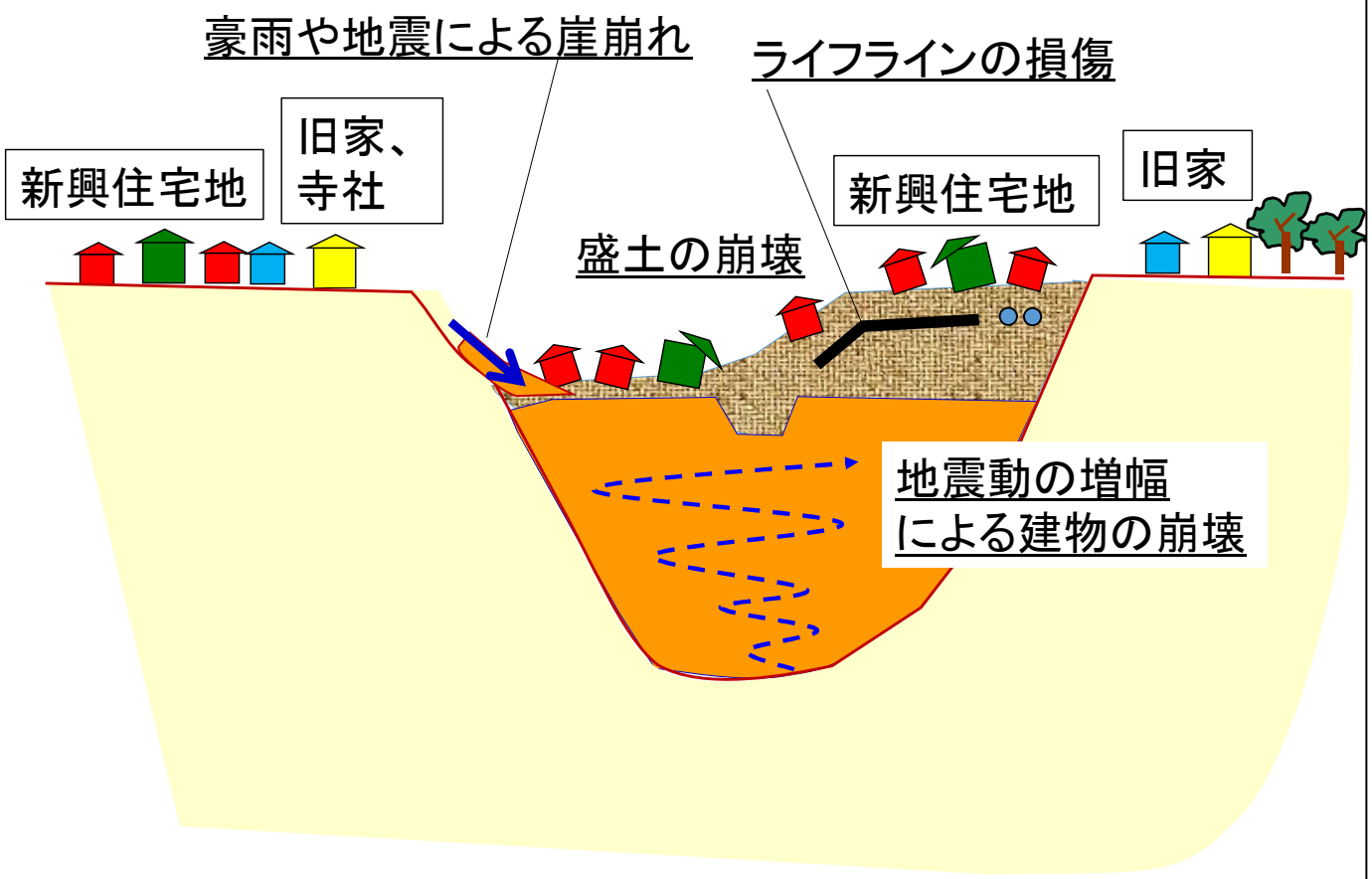
谷地には盛土も建設し、新興住宅が建設されてきました。



近代的開発後の様々な地盤災害（谷地地形）−1

谷地の軟弱地盤は、盛土によって沈下して、家屋が傾斜したり、ライフラインが損傷したりします。

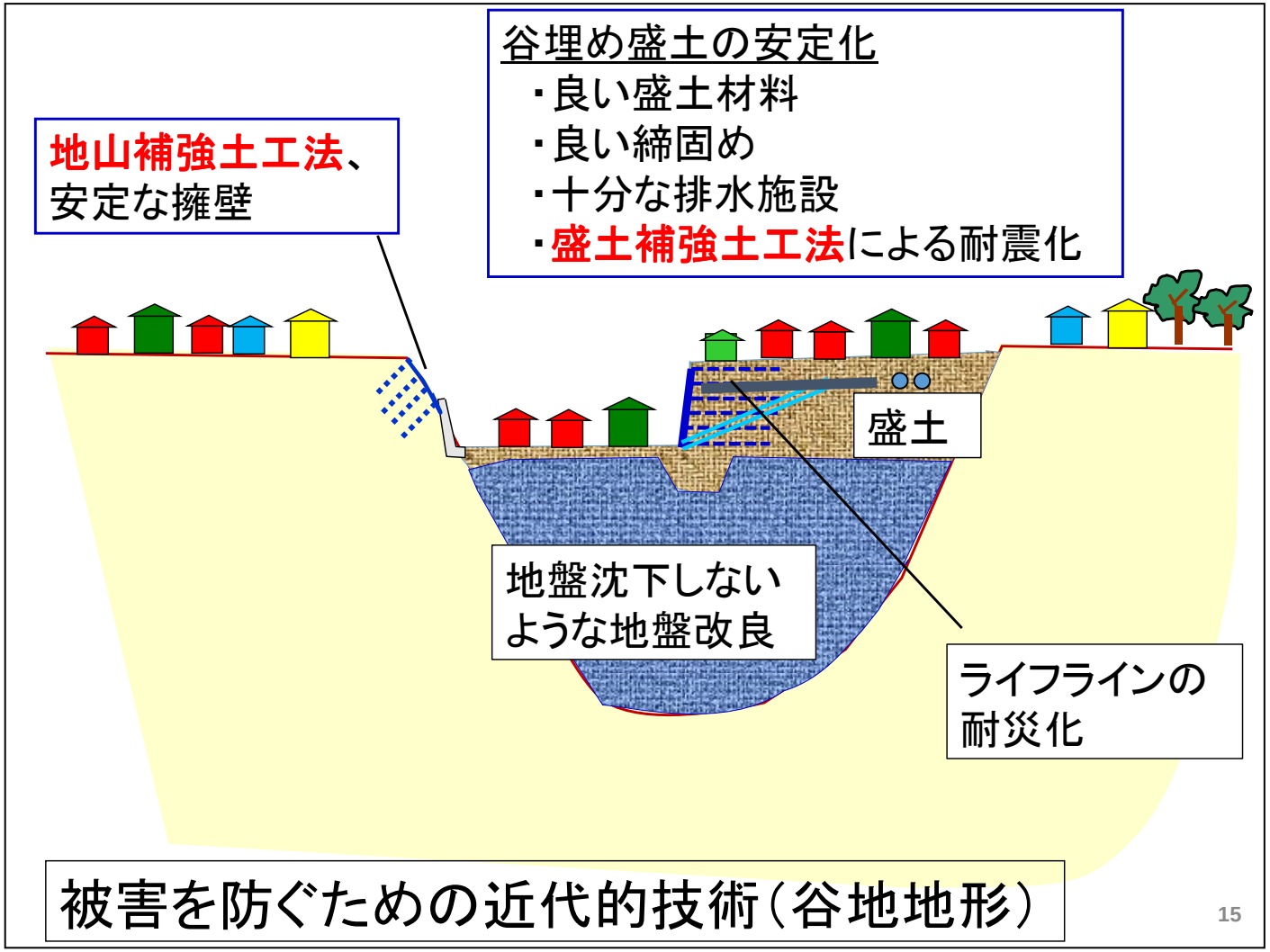
また、豪雨地震で崖崩れが生じたりします。



近代的開発の後での様々な地盤災害（谷地地形）−2

これは、地震被害を示したものです。

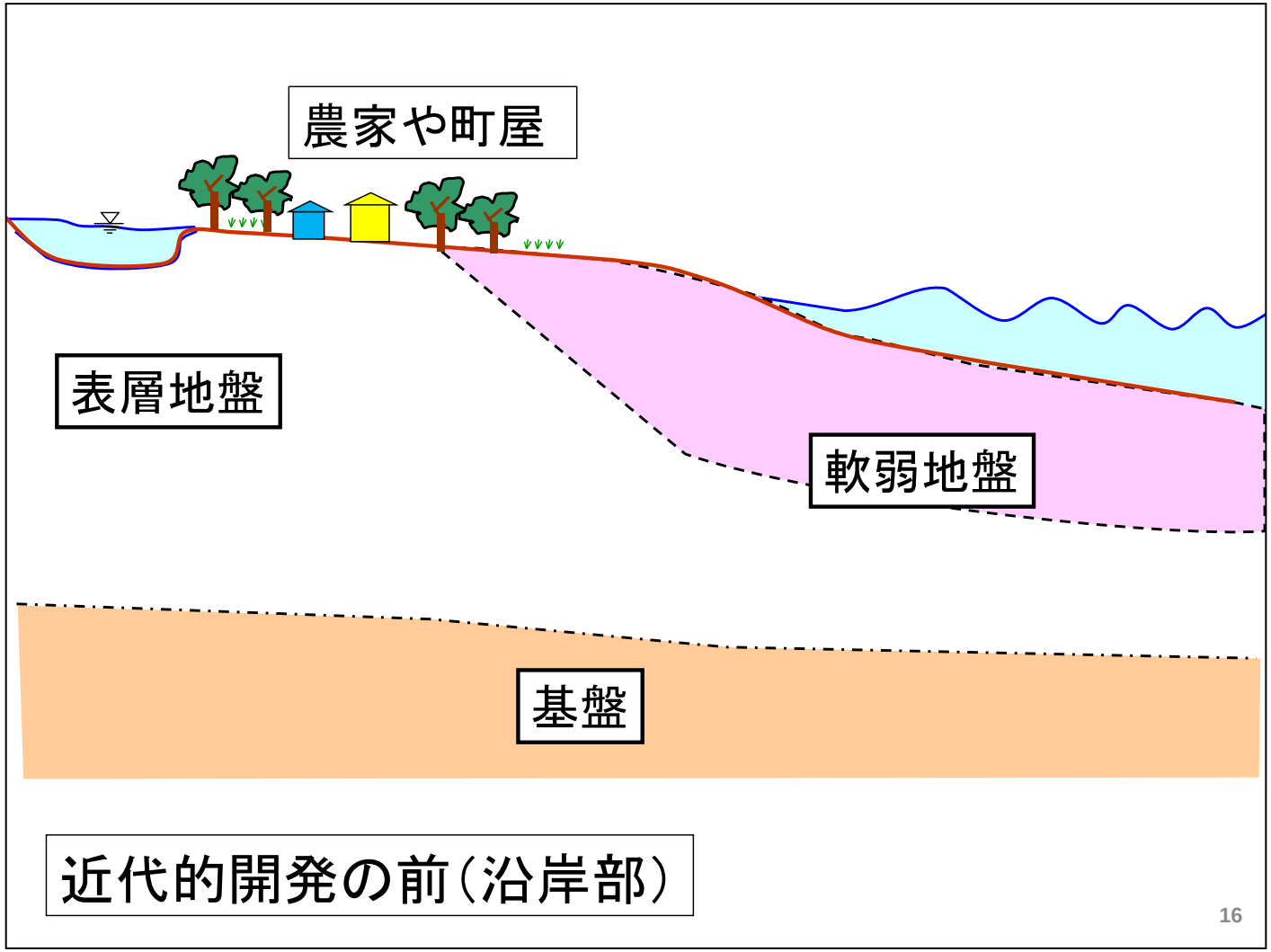
このように、古い技術によって開発され、あるいは高度成長期に経済性を優先して開発された社会では、自然災害が生じやすく、生じた場合は激甚化しやすい。



被害を防ぐための近代的技術（谷地地形）

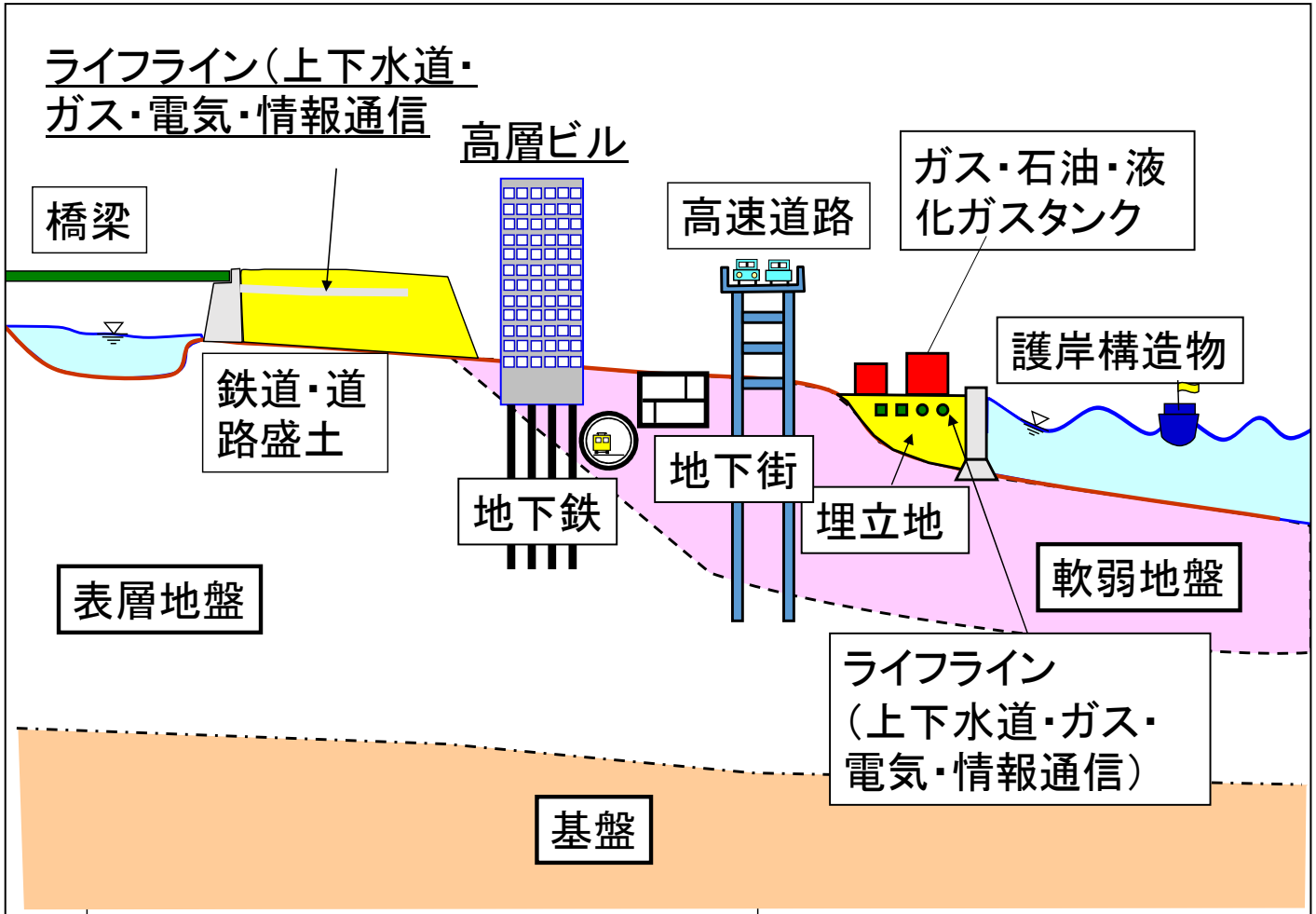
自然災害に対して強靭で、かつ、効率的・経済的に開発を進める必要があります。

そのために、この図で赤の字で示すように、地盤強化・改良工法を活用する必要があります。



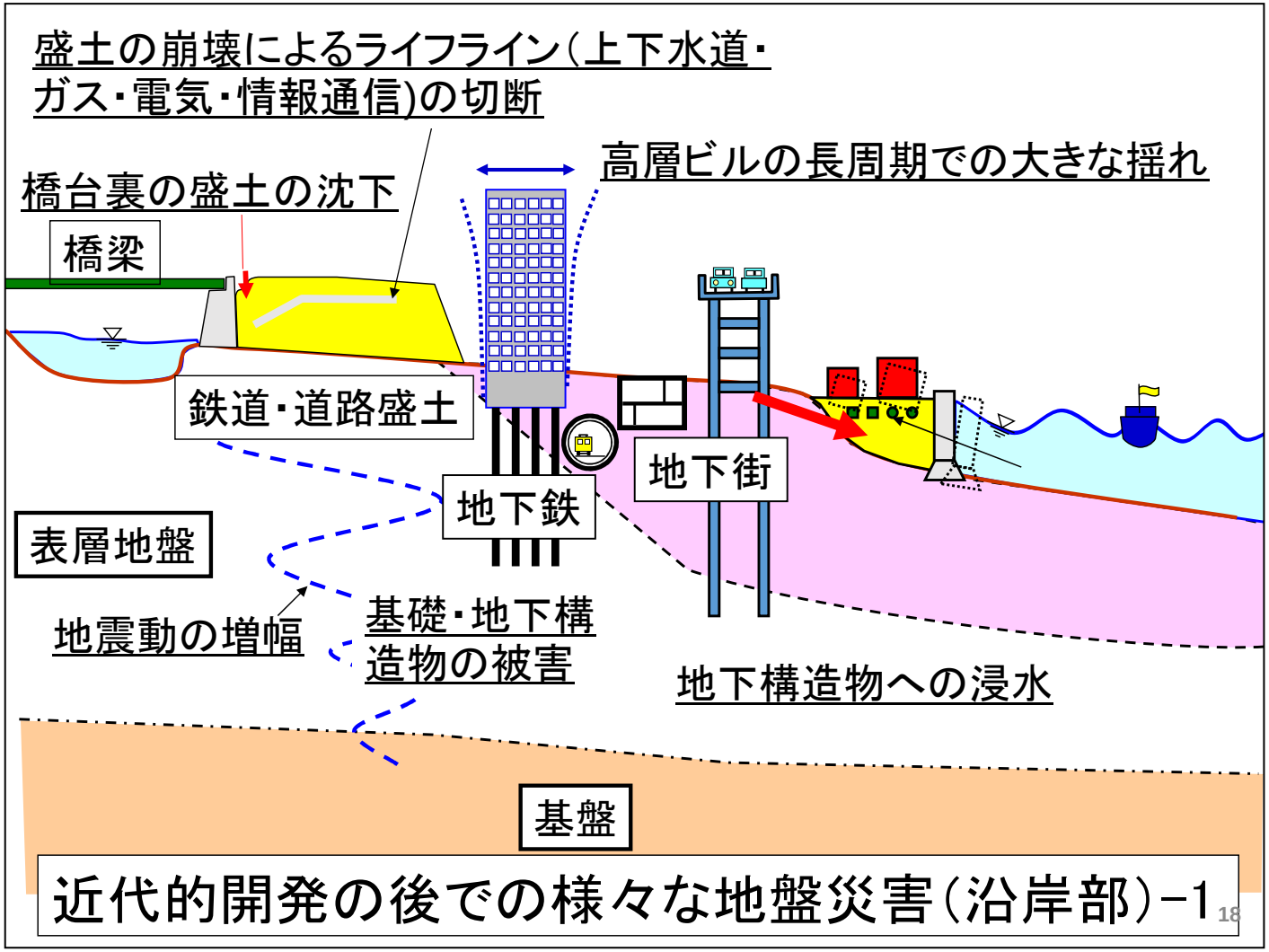
これは海岸地帯です。

開発が進む前は、人々は自然災害を受けにくい場所に住んでいる。



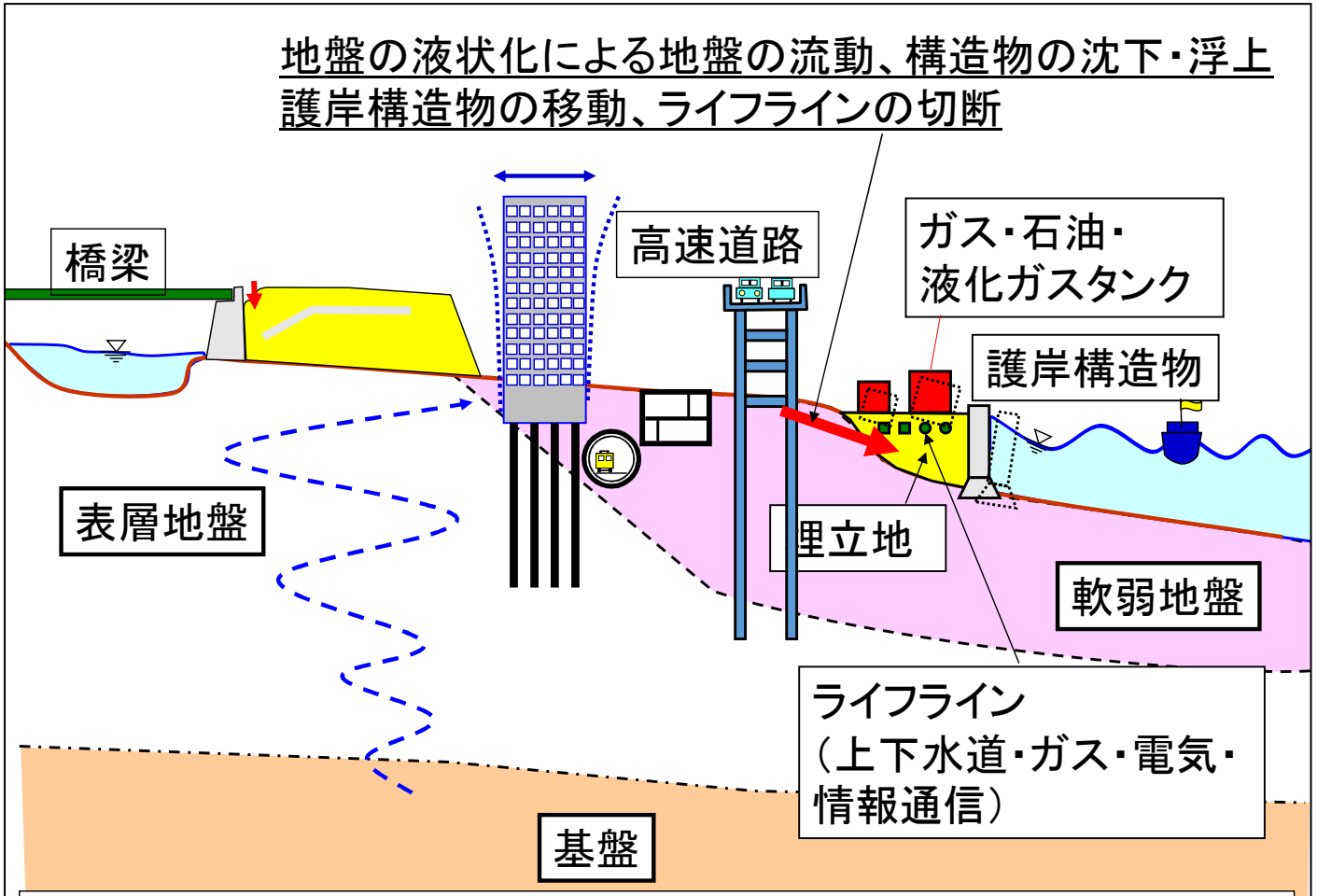
近代的開発の後（沿岸部）

社会が開発されると、自然災害を受けやすい場所に住み始め、災害を受けやすい施設が増加する。



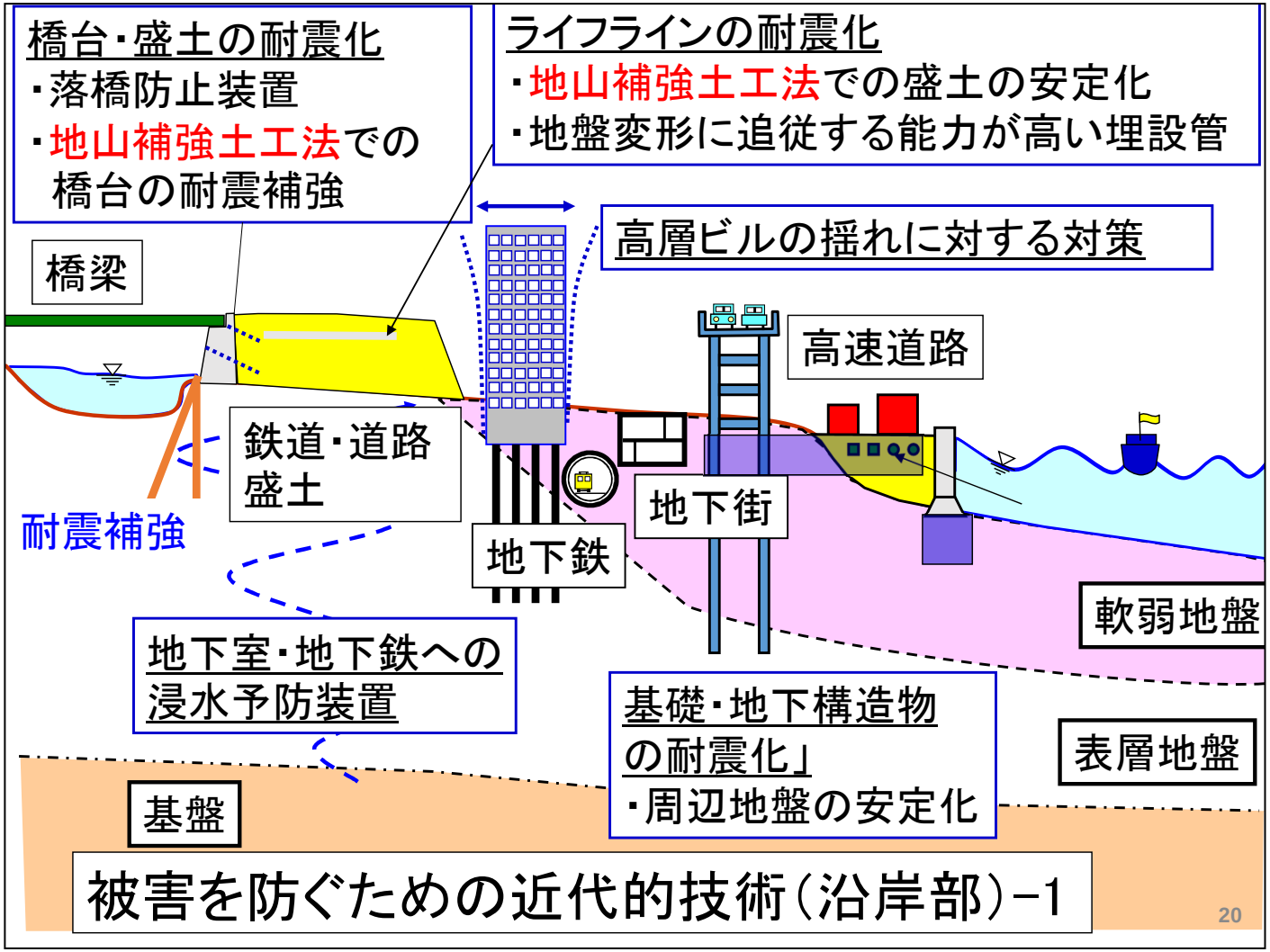
近代的開発の後での様々な地盤災害(沿岸部)-1

古い技術によって開発された、あるいは高度成長期に経済性を優先して開発された開発された社会は、自然災害が生じやすく、生じた場合は激甚化しやすい。



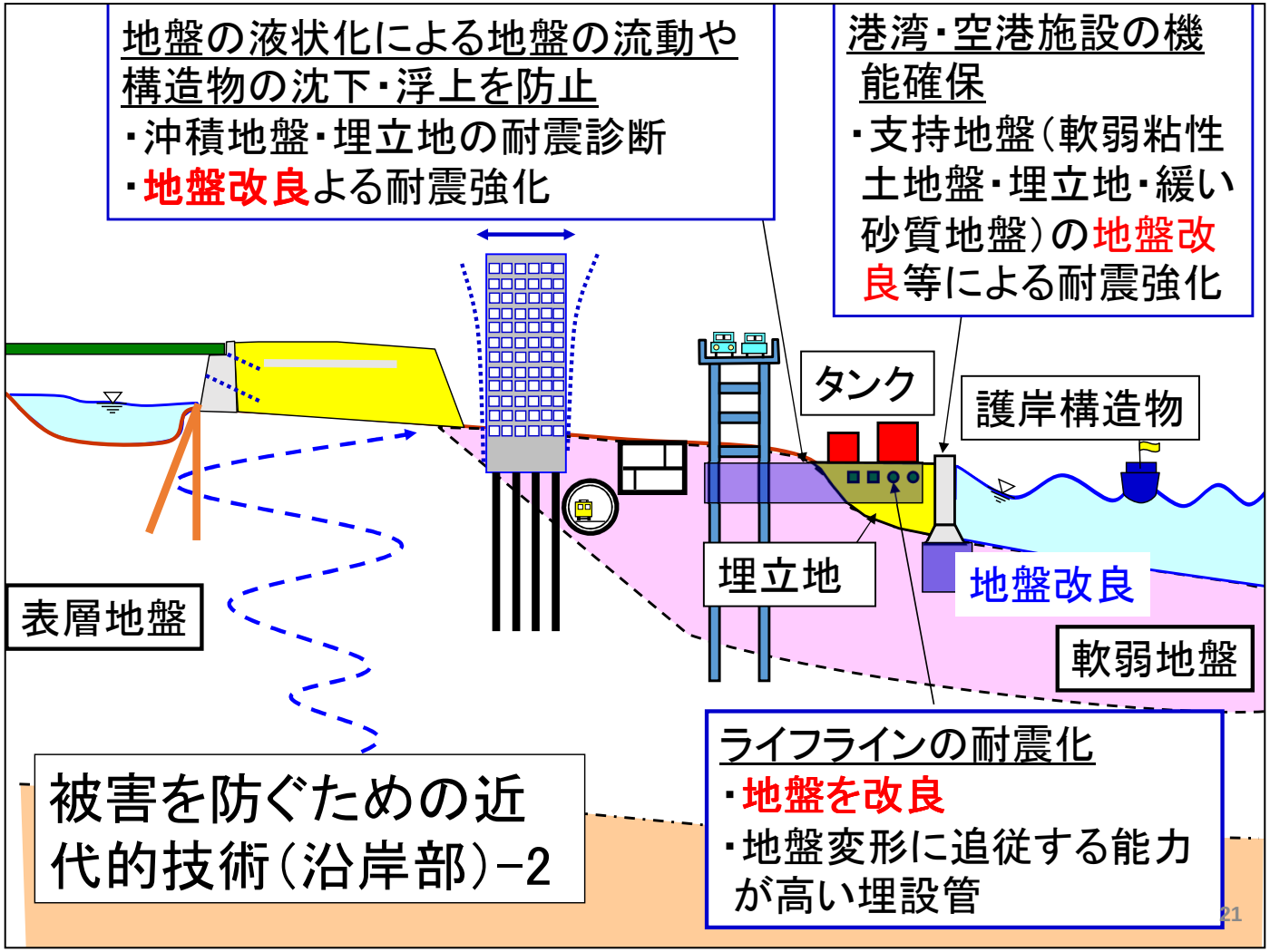
近代的開発の後での様々な地盤災害（沿岸部）−2

古い技術によって開発された、あるいは高度成長期に経済性を優先して開発された開発された社会は、自然災害が生じやすく、生じた場合は激甚化しやすい。



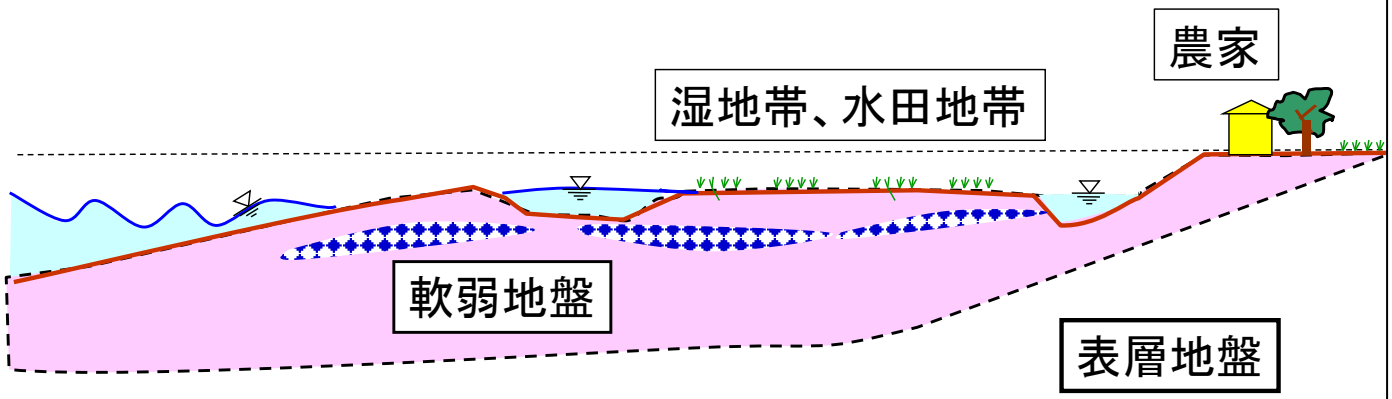
自然災害を受けないように、かつ、効率的・経済的に、社会の開発を進める必要があります。

そのために、この図で赤の字で示すように、地盤強化・改良工法を活用する必要があります。



自然災害を受けないように、かつ、効率的・経済的に、社会の開発を進める必要があります。

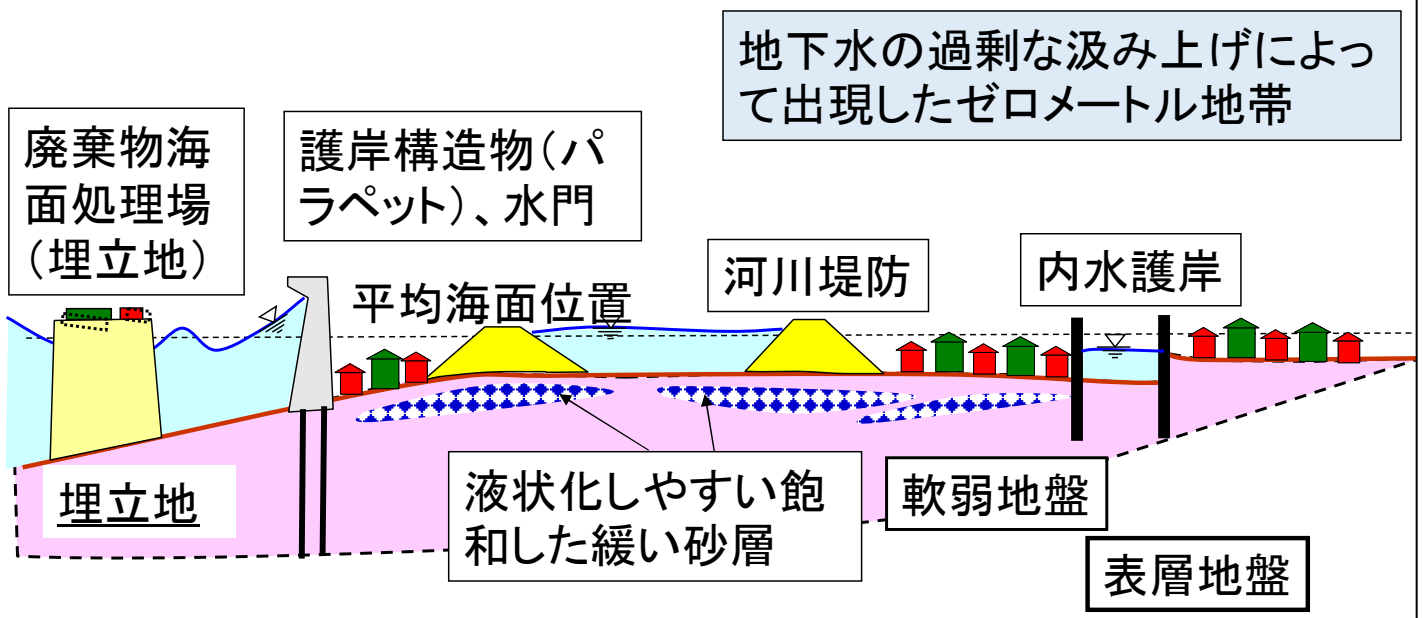
そのために、この図で赤の字で示すように、地盤強化・改良工法を活用する必要があります。



近代的開発の前（低地）

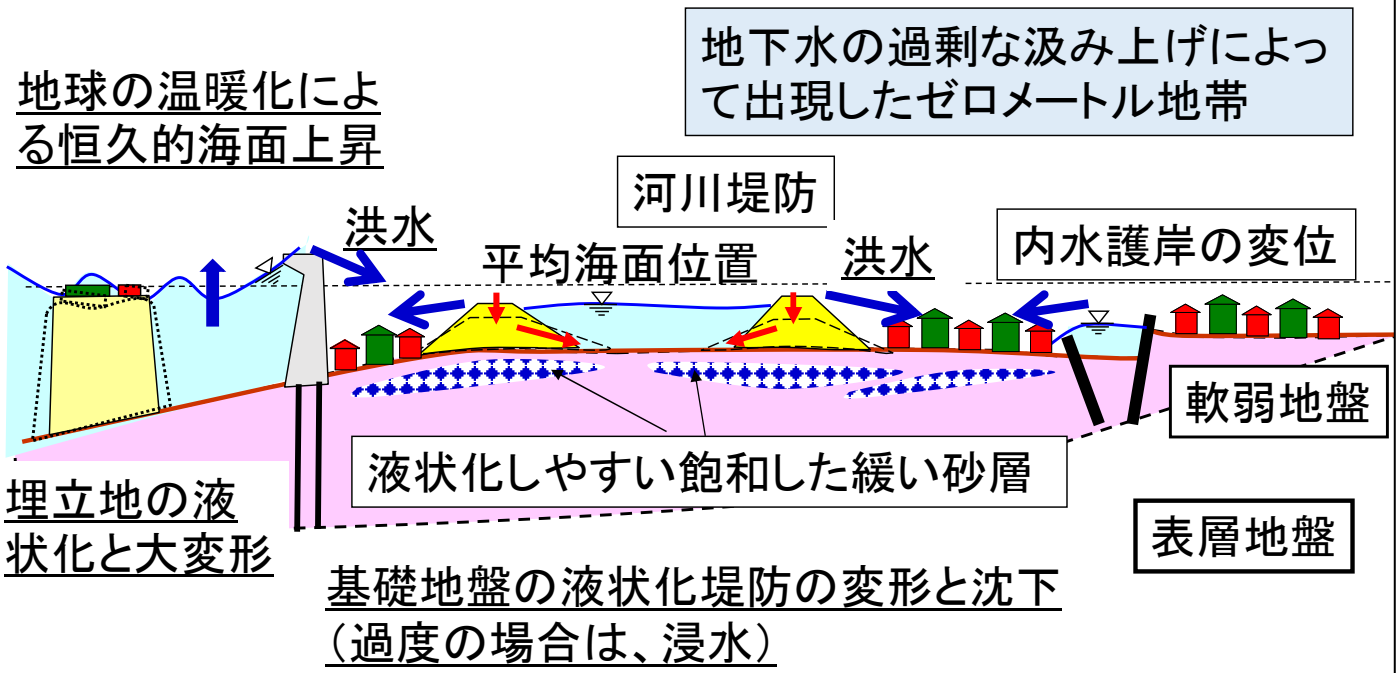
これは、東京の下町のような低地の場合です。

開発が進む前は、人々は自然災害を受けにくい場所に住んでいる。



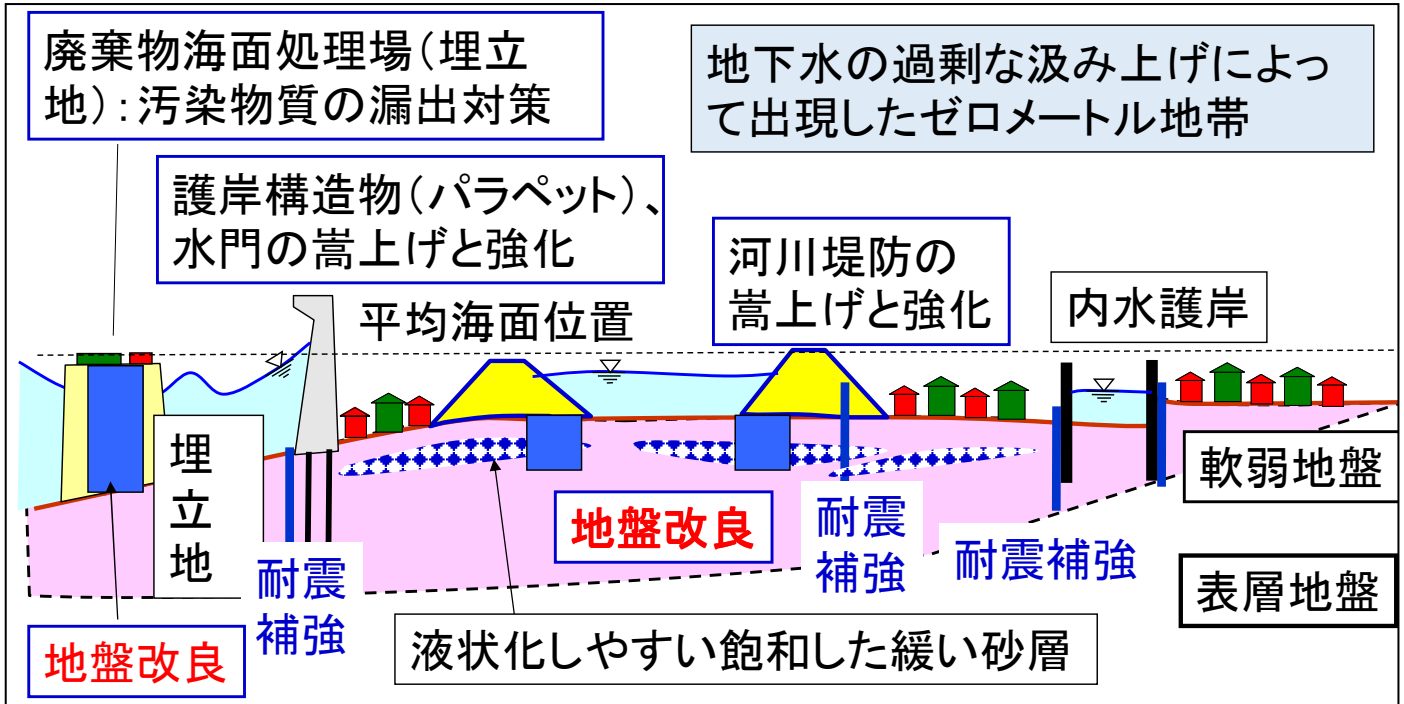
近代的開発の後（低地、既に地盤沈下が生じた後）

社会が開発されると、自然災害を受けやすい場所に住み始める。東京の下町では地下水の過剰な汲み上げによって、地盤が最大4m近く沈下してしまっています。そのため、海水位よりも低い土地で、何百万人の人が暮らしています。



近代的開発の後での様々な地盤災害（低地部）

このように、 古い技術によって開発された、あるいは高度成長期に経済性を優先して開発された開発された社会は、自然災害が生じやすく、生じた場合は激甚化しやすい。



護岸・堤防・水門の嵩上げと強化
・耐震診断（特に液状化に伴う地盤の流動の可能性の予測）
・耐震補強（強地震動に有効で経済的な**地盤改良技術**（締固め、セメント混合、薬液注入等）の開発と適用等）

被害を防ぐための近代的技術（低地部）

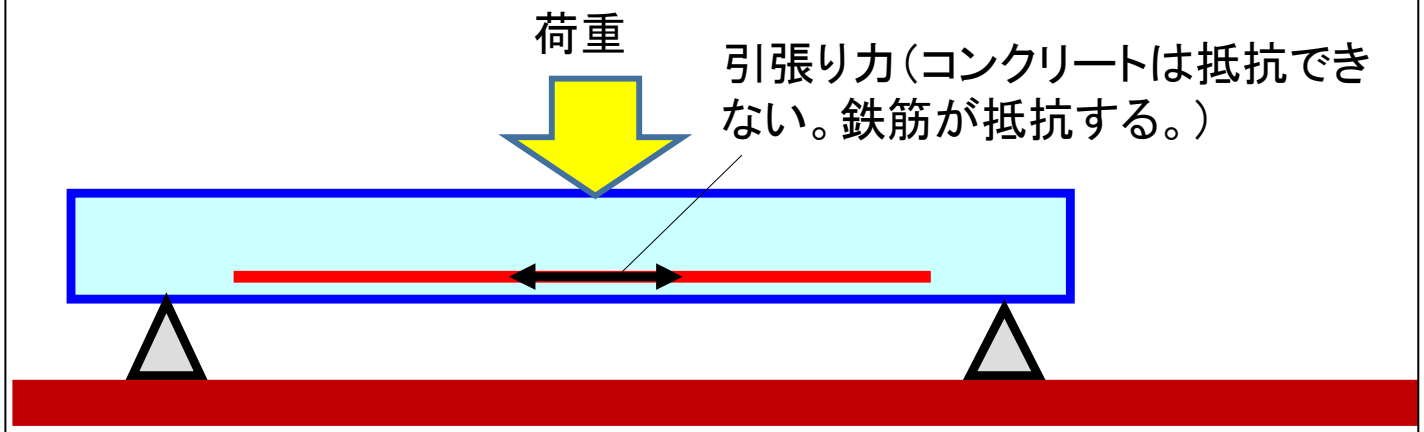
自然災害を受けないように、かつ、効率的・経済的に、社会の開発を進める必要があります。

そのために、この図で赤の字で示すように、地盤強化・改良工法を活用する必要があります。

補強土工法の概説

補強土工法の概要を説明します。

鉄筋コンクリートの梁構造物では、引張りひずみ・引張り荷重に弱いコンクリートを鉄筋が引張り荷重を引き受けて、



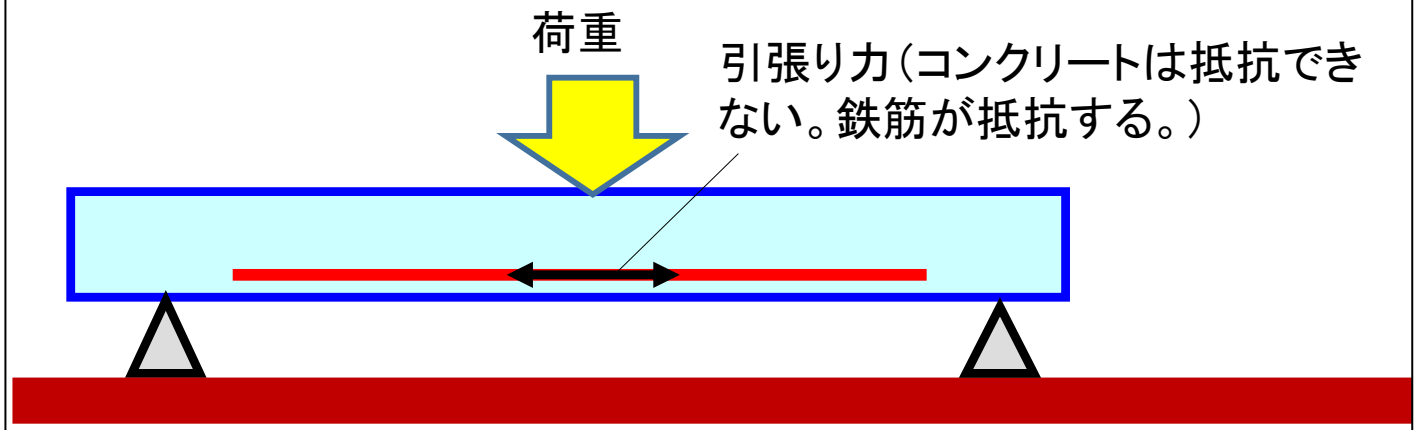
「鉄筋コンクリート」の英語 … Steel-Reinforced Concrete
英語に対応した日本語は、「鉄筋で補強したコンクリート」、
すなわち、「鉄筋補強コンクリート」が正確な和訳！
また、Fiber-Reinforced Concreteもある。
→従って、「鉄筋コンクリート」は、本来は正確な技術用語ではない。

まず、補強土とは何か、を説明します。

これは、皆様が知っている「鉄筋コンクリート」の梁が左右の二つの支点で支持されて、中央で鉛直荷重を受けている状態です。

梁の下側には水平に引張り力が働きますが、コンクリートは引っ張り力に大変弱いので、引っ張りに強い鉄筋を配置しています。つまり、鉄筋でコンクリートを補強しているので、「鉄筋コンクリート」は正確には「鉄筋補強コンクリート」です。

鉄筋コンクリートの梁構造物では、引張りひずみ・引張り荷重に弱いコンクリートを鉄筋が引張り荷重を引き受けて、



「鉄筋コンクリート」の英語 … Steel-Reinforced Concrete
英語に対応した日本語は、「鉄筋で補強したコンクリート」、
すなわち、「鉄筋補強コンクリート」が正確な和訳！
また、Fiber-Reinforced Concreteもある。
→従って、「鉄筋コンクリート」は、本来は正確な技術用語ではない。

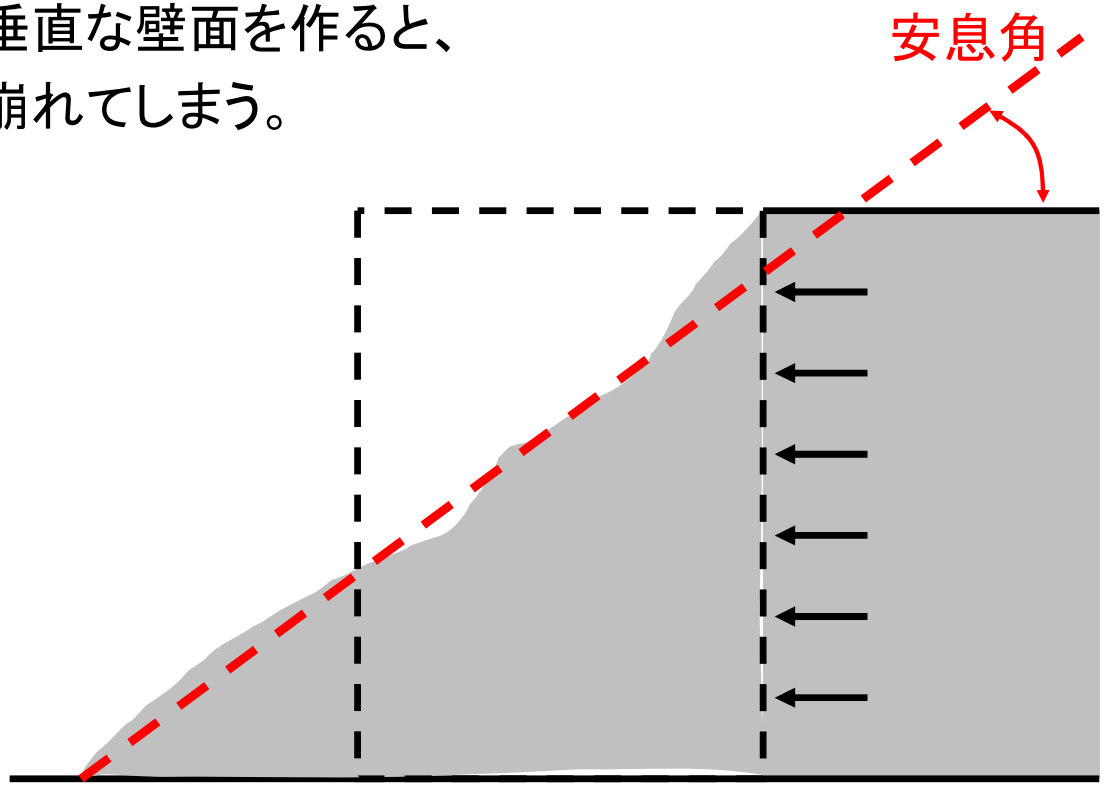
「補強土」は「補強コンクリート」に対応した技術用語であす。

例えば、「鉄筋補強土」は「鉄筋で補強した土」と言う意味です。

後で説明するように、盛土の補強には、鉄筋以外のもっと弱い石油高分子材のネット状の物など、多様な人工材料を用いています。

つまり、「補強土」は、「鉄筋コンクリート」の「遅れてきた弟」のようなもので、この50年ほどで開発され普及してきた、比較的新しい技術です。

そのまま堀削して、
垂直な壁面を作ると、
崩れてしまう。



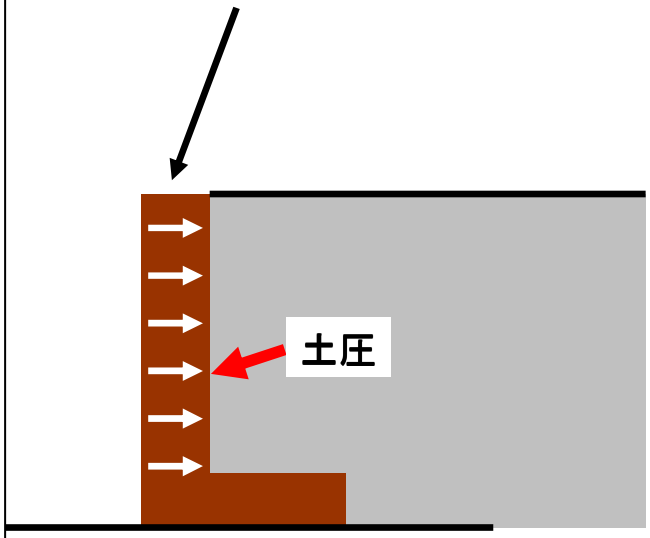
埼玉大学内村太郎准教授による

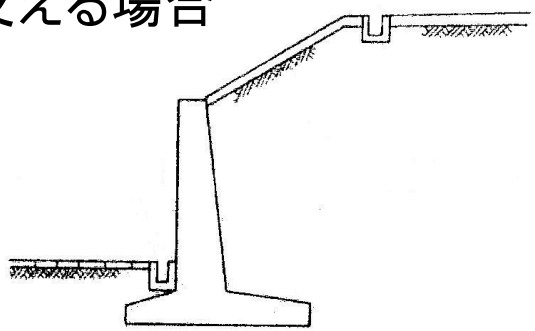
次に、補強土構造物の原理を簡単に説明します。

まず、補強していない盛土は、そのままでは安定な鉛直な面を形成できません。乾燥した砂、飽和した砂で鉛直な面を作ろうとした場合が、典型的な例です。

その場合は盛土は崩壊して、角度が安息角（これは、基本的に内部摩擦角に等しい）斜面が形成されて、初めて安定する訳です。

L型擁壁（ようへき）で盛土を支える場合





盛土自体の変形強度特性は、
何も変化していない。
自立性を持ったわけではなく、
L型擁壁によって支えられている

埼玉大学内村太郎准教授による

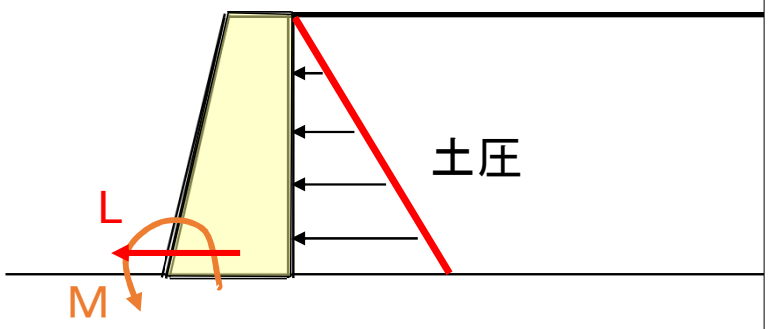
これは、補強していない盛土を支える擁壁構造物の説明です。

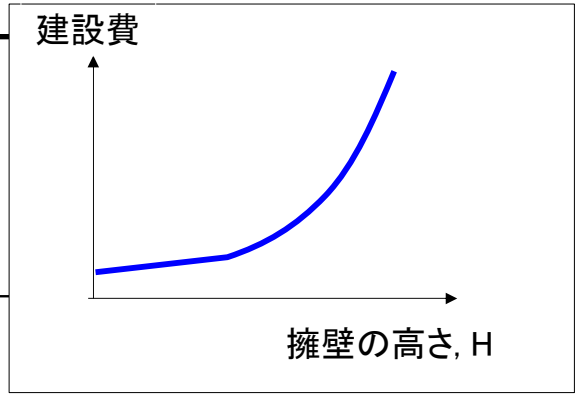
擁壁は、英語でRetaining wallと言い、Soil retaining wall、つまり、「盛土を支える壁構造物」と言う意味です。

この場合は、盛土自体が強化された訳ではありません。盛土は、外側から支えられている訳です。

したがって、擁壁構造物は、高くなるほど、土圧の影響が急速に大きくなり、巨大化し、それを支える杭基礎も必要となり、建設費が高くなります。

従来型擁壁は片持ち梁構造：
壁高Hが大きくなると、土圧による壁下端での滑動荷重とモーメント荷重は急激に増加





滑動荷重L：　壁高のほぼ二乗に比例
モーメント荷重M: 壁高のほぼ三乗に比例

５ｍ 程度以上高くなると、急速に大型構造物になる

山岳地帯の擁壁は、非常に高くなるので、建設費が急増する傾向

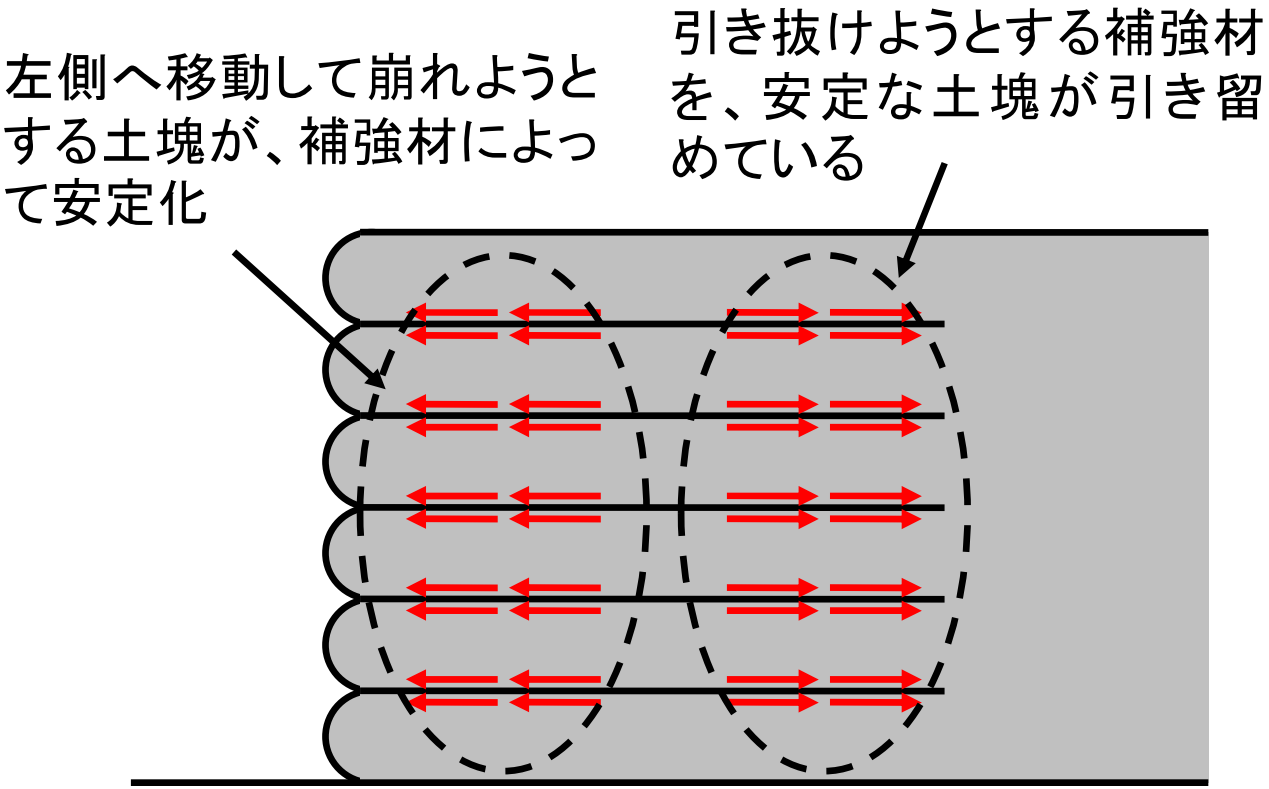
これは、従来式擁壁は、力学的には片持ち梁であることを説明したものです。

擁壁の背面に加わる土圧の合力は、擁壁下端での水平滑動荷重及び転倒モーメントなります。

滑動荷重は壁高の2乗に比例して、転倒モーメントは壁高の3乗に比例します。

それらの結果、壁高が大きくなると擁壁の構造物は急速に重量化して、建設費は急速に増加します。

補強材の表面には、左右方向に摩擦力が発揮
→補強材の内部に引張り力が発揮される



埼玉大学内村太郎准教授による

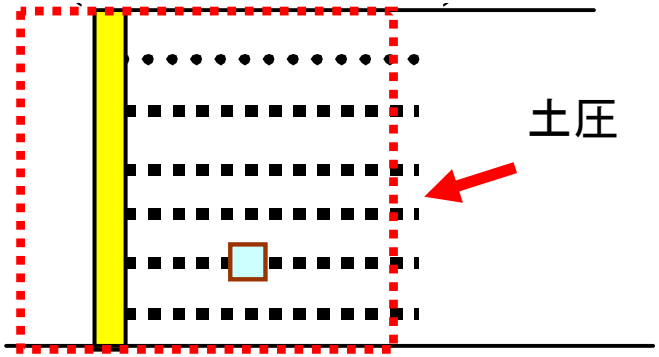
これは、背後の盛土が補強された擁壁のメカニズムを説明したものです。

従来の擁壁とは異なり、盛土の内部に補強材を配置して、盛土を内部から安定化させます。

従って、従来の擁壁のような、重厚な擁壁構造物は不要になります。

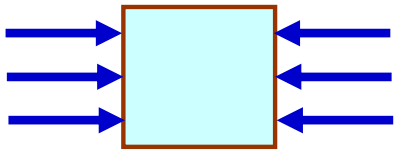
盛土を補強した擁壁

補強土擁壁
Reinforced soil retaining wall)



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。

土は引張り抵抗力はゼロなので、
補強材に引張り力が発揮される



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発揮。

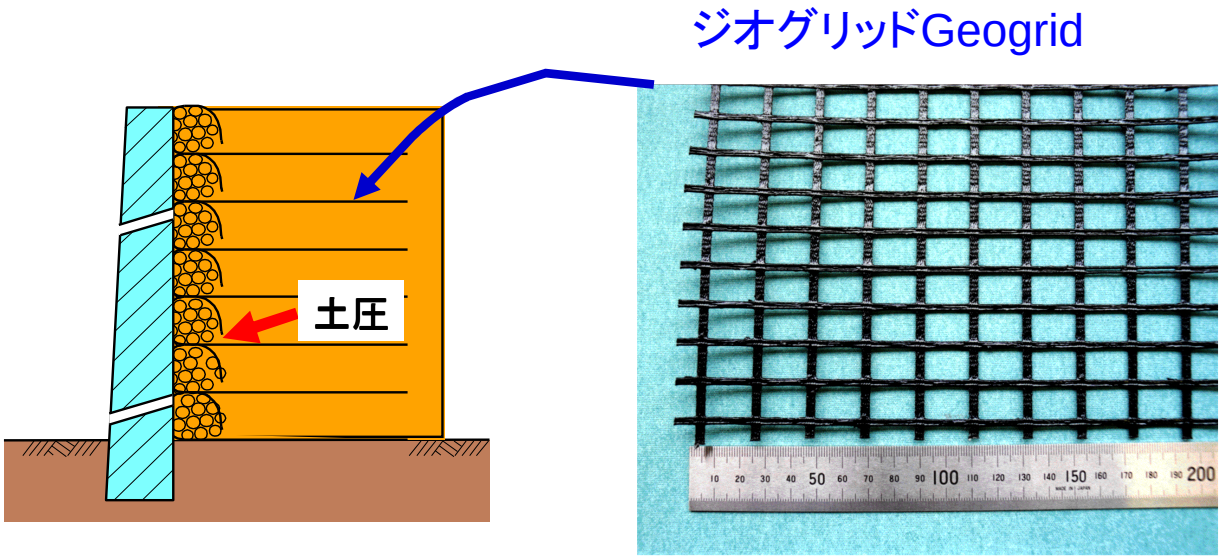
これは、補強土擁壁のメカニズムをもう少し詳しく説明した図です。

土には引張り力に対する抵抗力はゼロなので、補強材が引張り抵抗して盛土が水平に伸びるのに抵抗しています。

補強材に発揮される引張り力の反力として、盛土には水平方向に圧縮力（拘束圧）が発揮され、安定化します。

ジオグリッド補強土擁壁
ジオグリッドで補強した盛土からなる擁壁構造物

Geogrid-reinforced soil retaining wall)



これは、石油高分子材の繊維を格子状に織りこんだ補強材です。一般に、ジオグリッド(Geogrid)と呼んでいます。

素材は石油高分子材で鉄のように強く硬くありません。しかし、引張り強度は土に比べれば十分に大きく、また格子状で面状なので、盛土と良く噛み合い、盛土の水平方向の伸びを拘束して、盛土を効果的に補強できる能力があります。

トイレットペーパーを用いた補強土壁の模型

この授業でも、実際にトイレットペーパーで盛土を補強した擁壁を見せますが、こんな弱い補強材でも、驚くべき能力を発揮します。

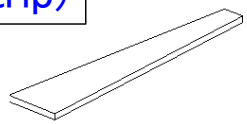
トイレットペーパーでも、このように盛土を安定化できます。その原理は、あとで詳しく説明します。

盛土に用いられる補強材

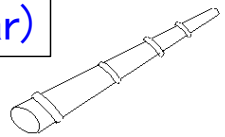
金属製補強材

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

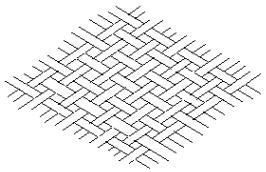
帯状（strip）



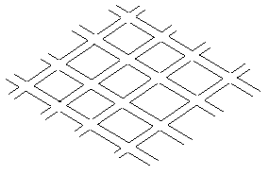
棒状（bar）



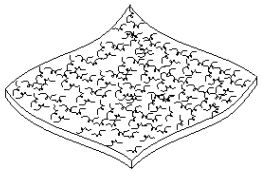
織布



ジオグリッド



不織布



埼玉大学内村太郎准教授による

もちろん、実際の補強盛土にはトイレットペーパーは用いません。

実際に盛土に用いられる補強材には、二種類あります。

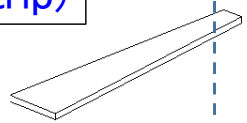
金属製の補強材は、素材は強く硬いのですが、盛土との接触面積が小さいので引き抜けやすいと言う欠点と、長期的には錆の問題が生じる虞があります。

もう一つは、遮水、排水、分離などの色々な目的で盛土の内部に配置する人工物で、一般にgeosynthetic（ジオシンセティックス）と言います。日本語では、地盤用人工材料です。素材は、基本的に石油高分子材料（plastic製品）です。

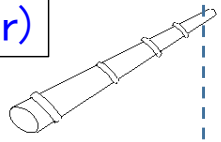
盛土に用いられる補強材

金属製補強材

帯状（strip）

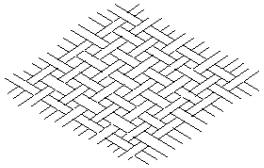


棒状（bar）

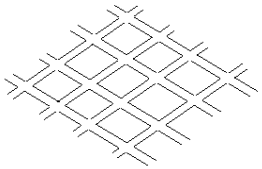


ジオシンセティックス
- ジオテキスタイル
  - 織布
  - ジオグリッド
  - 不織布
- ジオメンブレン

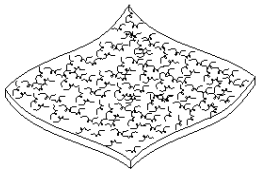
織布



ジオグリッド



不織布



埼玉大学内村太郎准教授による

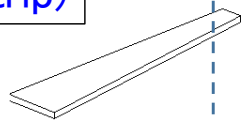
ここの右側に、ジオシンセティックスの分類が書いてあります。

geotextile（ジオテキスタイル、地盤用繊維）は、主に地盤の補強と分離に用いられます。textileとは、布などの繊維製品のことです。

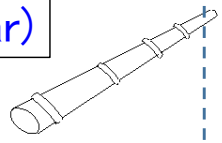
盛土に用いられる補強材

金属製補強材

帯状（strip）

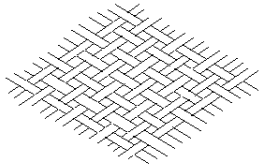


棒状（bar）

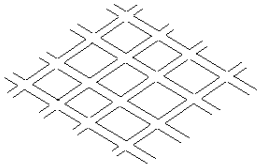


ジオシンセティックス
- ジオテキスタイル
  - 織布
  - ジオグリッド
  - 不織布
- ジオメンブレン

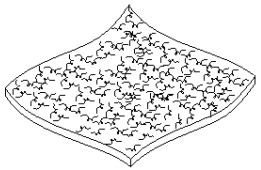
織布



ジオグリッド



不織布



埼玉大学内村太郎准教授による

ジオテキスタイルは以下のように分類されます。

・織布(woven geotextile)は織物であり、

・ジオグリッドは格子状です。

いずれも、地盤の補強に用いられます。

・不織布(Nonwoven geotextile)は、細い繊維を絡ませただけのもので織ってありません。赤ちゃんのおしめ、マスクにも使われています。弱く柔らかいのですが、排水機能と分離機能があります。

ジオメンブレン（Geomembrane）は、膜状のもので、主に遮水に用いられます。

富士山静岡空港
（○の中にジオグリッド補強土擁壁がある）

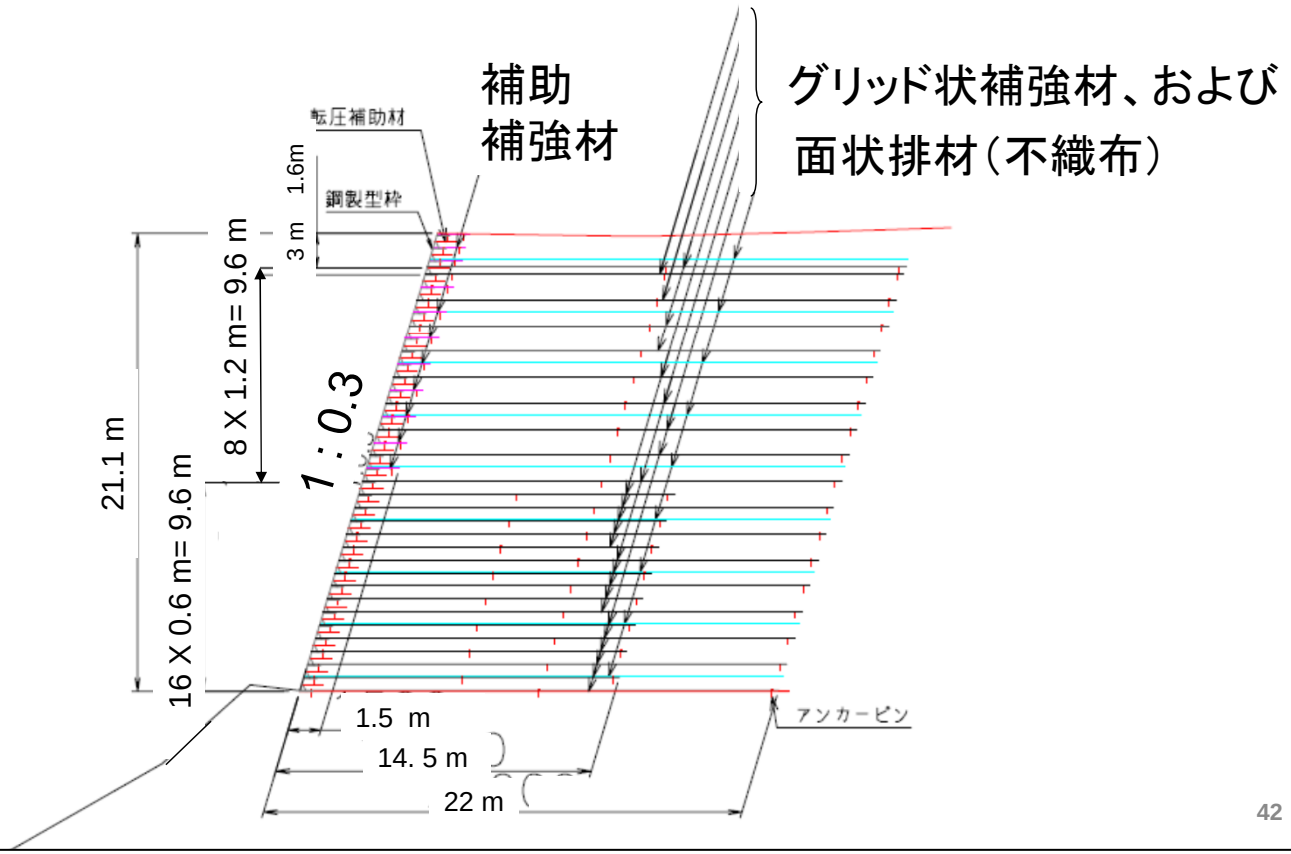
これは、ジオグリッドを用いて補強して急勾配の高盛土を建設した例です。

富士山静岡空港、一の谷、高さ16.7m のジオグリッド補強土擁壁とその背後の高さ45mの盛土（2006年5月盛土完了、写真は2007年11月2日筆者撮影）

自然環境の保全の目的で建設

これは、緩い勾配を持つ盛土を建設すると、盛土の前の自然環境を破壊してしまうので、それを保全するために急勾配の補強盛土を建設したものです。

富士山静岡空港、二の谷、ジオグリッド補強盛土（静岡県の資料）



これは高さ21mの急こう配ののり面を持つ補強盛土の断面です。

補強材としてジオグリッドを、面状排水材として不織布を用いています。

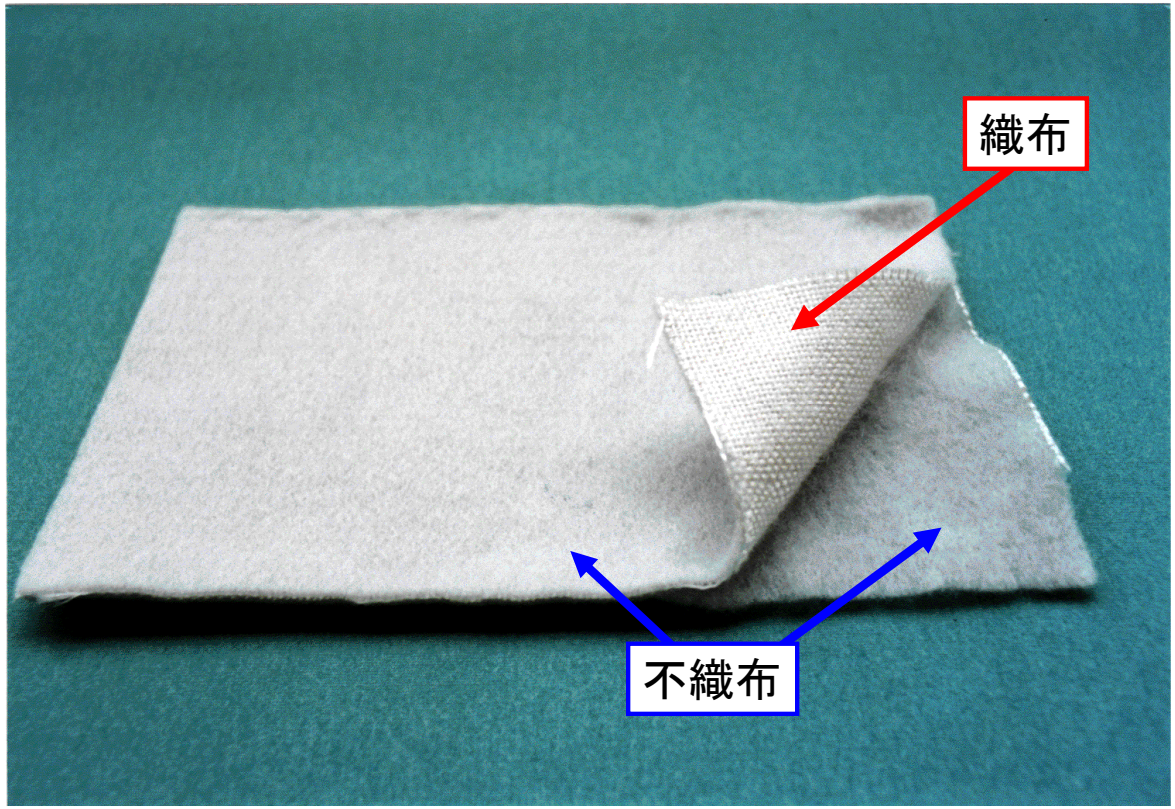
二の谷での、高さ21mのジオグリッド補強盛土

これは、補強盛土を正面から見た写真であり、のり面は緑化してあります。

建設後13年半後
2019年12月3日
筆者撮影

これは、2019年12月3日に、13年半後に撮影したものです。

不織布・織布の複合材料



これは、排水と補強の二つの機能を持たせるために、織布と不織布を重ねた複合材です。

粘土盛土の補強と排水に用いられます。

複合材の機能（まとめ）

・織布　⇒　引張り補強
　補強材の張力で、盛土材の変形を内部から抑制する。

・不織布　⇒　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
　一定の鉛直間隔で敷設することで、小さい層厚できちんとした締固めを実現するように管理できる。

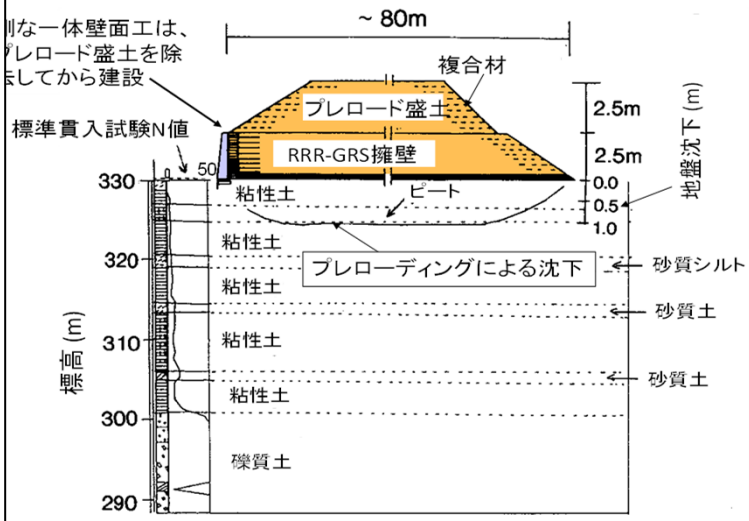
これは、複合材の機能のまとめです。

補強土の柔軟性・材料の有効利用を示す例：北陸新幹線　長野車両基地

非常に厚い軟弱地盤上の高規格盛土を、

高含水比の粘性盛土材を複合材で補強して建設

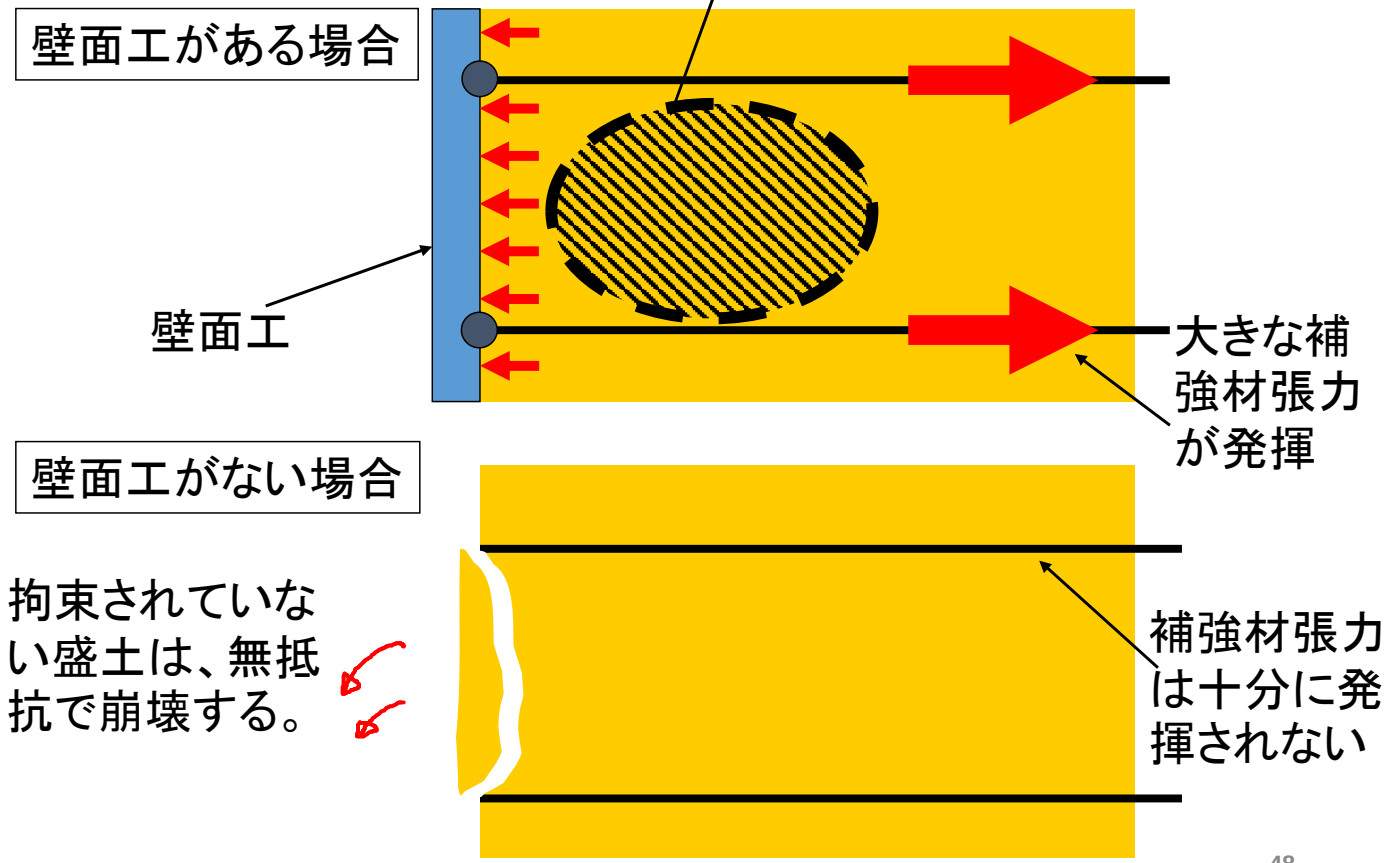
→1m以上の圧密沈下にも、柔軟に対応。



これは、不織布と織布の複合材のジオテキスタイルで補強した粘土盛土で、北陸新幹線のヤードとして建設さました。詳しくは、後で説明します。

壁面工の役割

壁面工の裏に、しっかり土圧がかかる。
→盛土材が拘束されて、強度・剛性が高まる。



埼玉大学内村太郎准教授による

補強土擁壁は、盛土と補強材だけでなく、壁面工も必要です。

補強土擁壁の壁面工は、従来型の擁壁よりも遥かに薄いですが、その背後で補強材と連結することによって、図で示すように、

①盛土に壁面位置で拘束圧を与え、

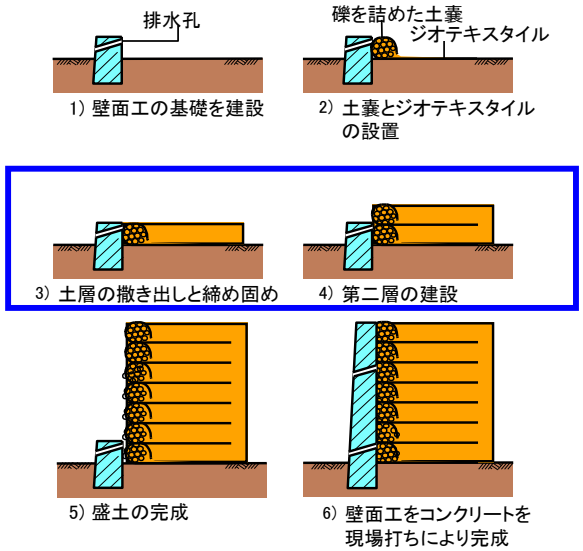
②補強材に有効に引張り力を発揮させることによって、

盛土の変形を拘束し安定化します。

また、機械的な外力や火災等に対する耐力を確保するために必要なものです。

ジオテキスタイル建設方法（段階施工）;

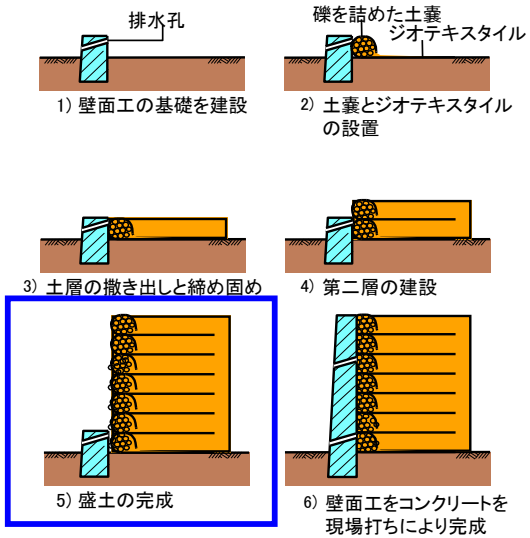
1）砕石等礫を詰めた俵を壁面に置き、それを引張り補強材（ジオテキスタイル geotextile）で包み、盛土内に補強材を配置して、盛土を締め固める。これを繰返して、擁壁の盛土を完成。



これは、補強土擁壁を建設する方法の例です。1)から6)まで、段階を追って建設します。

写真は、盛土を締め固めることによって補強盛土を建設している段階3), 4)です。

剛で一体の壁面工を建設する直前の段階



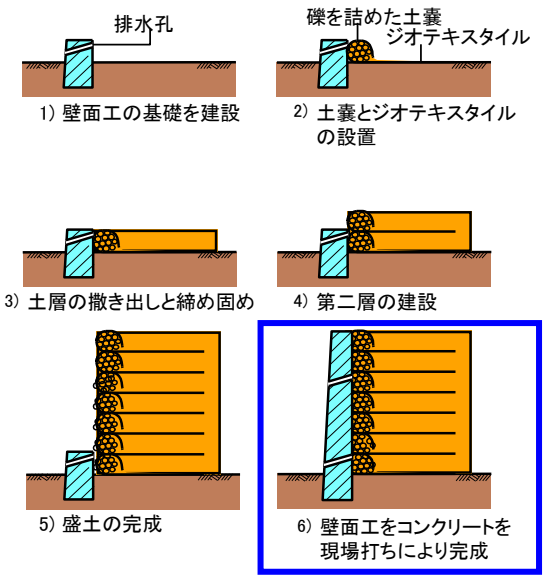
50

これは、段階5)であり、補強盛土は完成したが、まだ薄い鉄筋コンクリートの一体壁面工は建設していない段階での、未完成の補強土擁壁です。

ジオテキスタイル建設方法（段階施工）;

1）砕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補強材層と一体になるように現場打ちで建設。

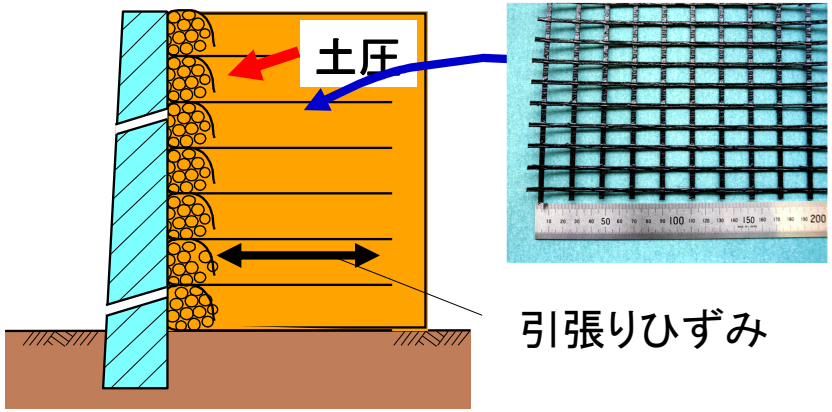


これは、段階6)であり、薄い鉄筋コンクリートの一体壁面工を建設して、完成した補強土擁壁です。

この様なジオグリッド補強土擁壁は、全国で新幹線等に総延長190km建設されています。

「ジオシンセティックで補強した土」を「ジオシンセティック補強土」と言う
英語名： Geosynthetic-Reinforced Soil (GRS)
・「何かで補強された土」の一般的用語：補強土（Reinforced Soil）
　　鉄筋補強土(Steel-Reinforced Soil)もある
・ジオシンセティック(geo-synthetic)： geo:大地、synthetic: 人工物
　⇒ その代表例：ジオテキスタイル補強土
　　ジオテキスタイル(geo-textile): textile 繊維織物/不織布・グリッド
　⇒ジオグリッド補強土(Geogrid-Reinforced Soil）

下図は、ジオグリッド補強土擁壁



三つの構成要素：
・盛土
・ジオシンセティック
　（ジオテキスタイル、
　　ジオグリッド）
　　の補強材
・壁面工

いずれも重要

以上をまとめますと・・・・・

補強土は、鉄筋コンクリートの遅れてきた弟のようなもので、見掛けは随分異なりますが、引張りひずみに対して全く抵抗力がない土を、引張りに抵抗できる材料で補強するという点で、鉄筋コンクリートと似ています。

補強土構造物は、この50年ほどで開発され普及してきた、比較的新しい技術です。

従来は、土の内部に何かを敷設して補強すると言う考え方がなく、このように土の内部から強化する考え方は、非常に斬新な考え方です。

補強土工法の利点（まとめ）

・ 無補強の地盤・盛土と比較すると、
　　地盤・盛土の強化・・・少ない変形、高い強度

・コンクリートの構造物と比較すると、
　　低コスト　・　特に現場発生土を有効利用した場合
　　支持地盤の変形に対して柔軟に対応
　　地震荷重に、柔軟に抵抗して、高い安定性が可能
　　緑化もできる

これは、補強土工法の利点をまとめたものです。

補強土構造物の種類

- 盛土補強土構造物
- 地山補強土構造物

補強土構造物には、基本的に、

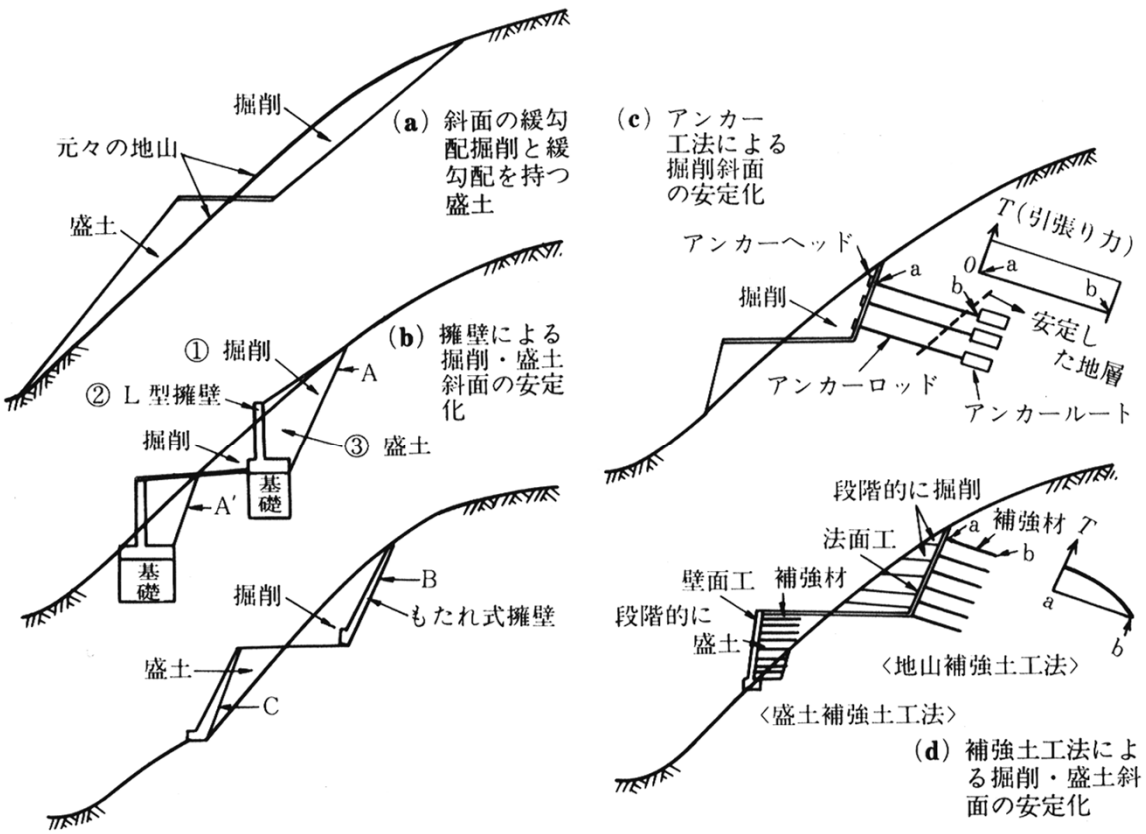
①盛土を建設しながら補強する「盛土補強土工法」と、

②既に存在する盛土・自然地山を補強する「地山補強土工法」

の二種類があります。

次に、この二つの補強土工法を、どのように用いるのか、具体的に説明します。

斜面に平地を建設する様々な工法

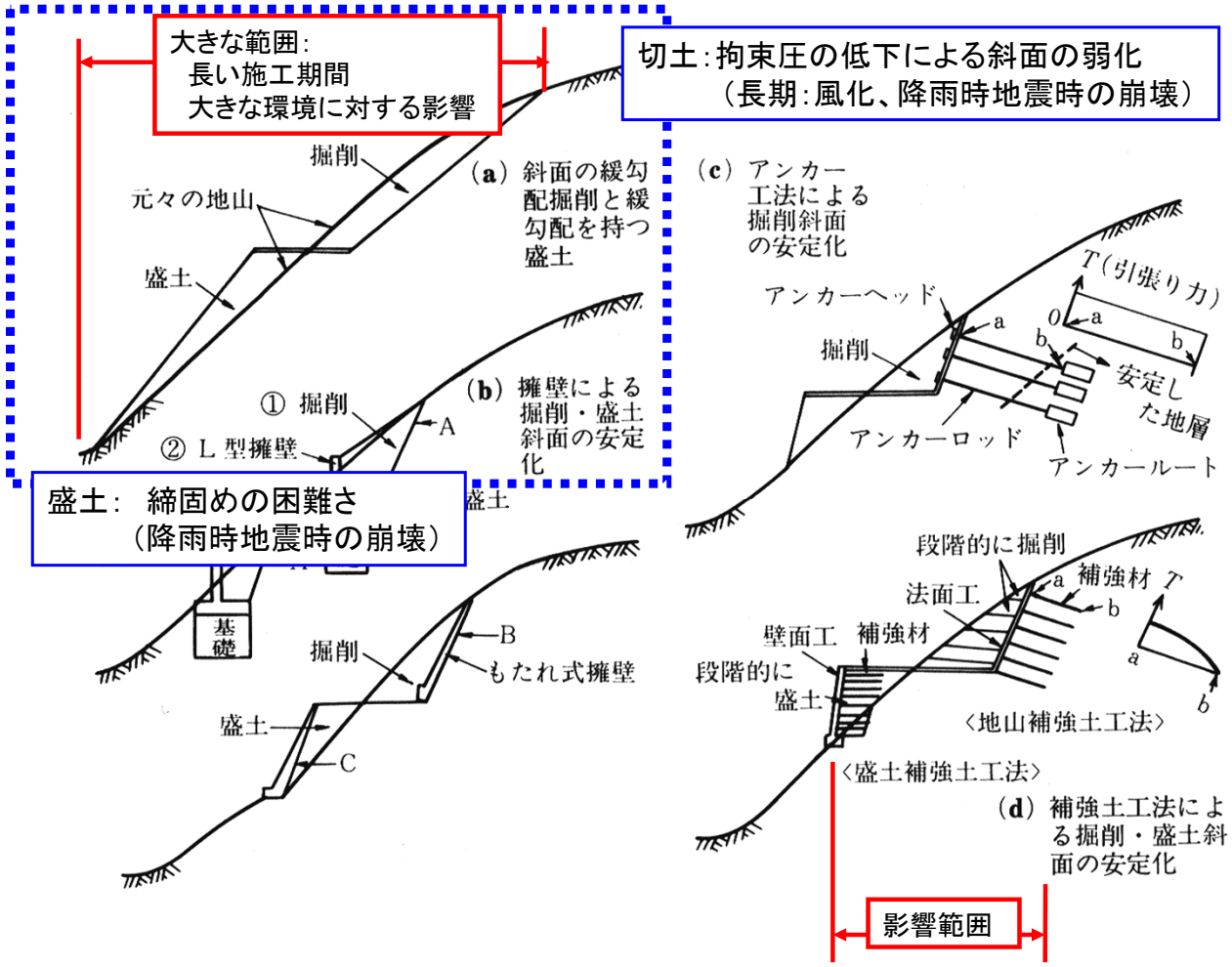


これは、斜面に平地を建設する方法を示しています。我が国では、急峻な山岳地帯で、このような斜面に鉄道・道路を建設する場合が非常に多い。

左上は、もっとも古くからある従来工法、 左下は近代的な従来工法です。 右上は、アンカー工法です。非常に効果的ですが、コストが掛かります。この工法の説明は、後程行います。

右下は、地山補強土工法と盛土補強土工法を組み合わせた、最近の工法です。

斜面に平地を建設する様々な工法



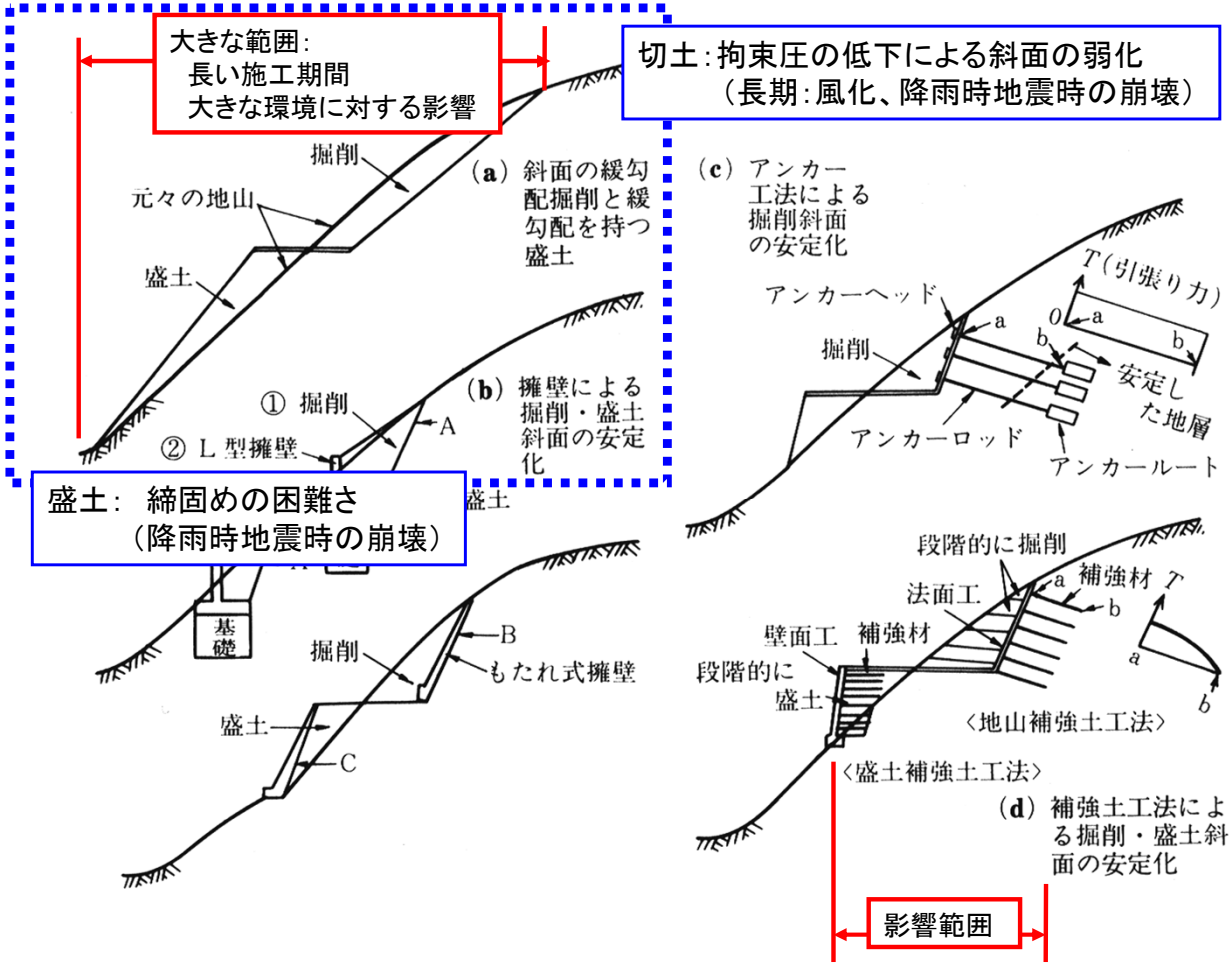
左上は、古くからある従来工法によって斜面に平地を建設する方法を示しています。

すなわち、山側の斜面をなだらかして安定化させるために掘削して、谷側に斜面になだらかなのり面を持つ盛土を建設します。しかし、この工法には、色々問題があります。

山側の斜面は、急勾配にすると不安定になるので、自然斜面よりもやや緩いだけの斜面にすることになります。このため、非常に高くまで広い面積を掘削することになります。

また、掘削斜面では、抑えが小さくなった斜面の土層は風化が進み、長期亘って安定している保証はありません。

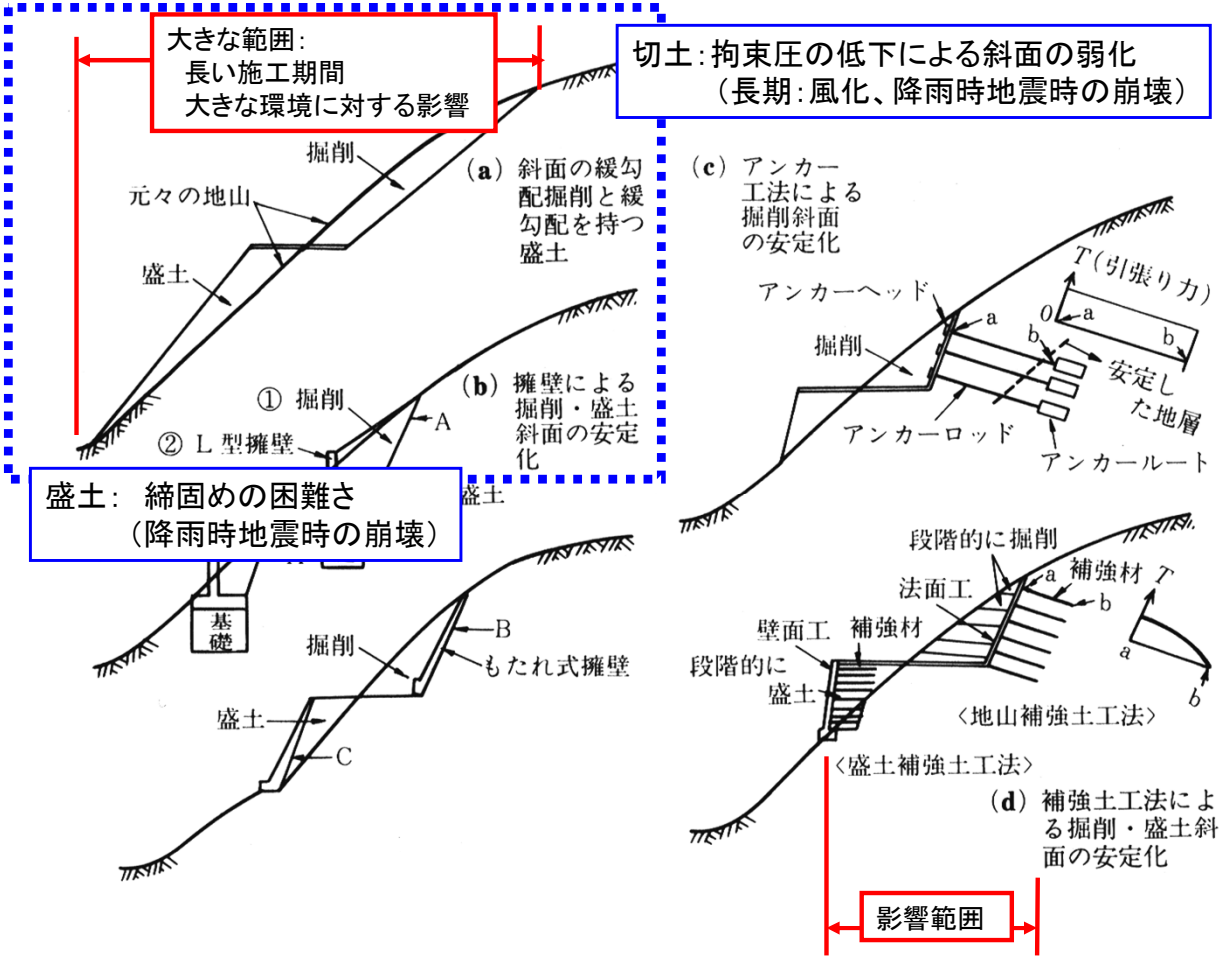
斜面に平地を建設する様々な工法



一方、谷側の盛土は、のり面が急勾配になると不安定になることから、のり面を緩い勾配にして建設します。

そのため、盛土は谷底まで建設し、深く高くなりがちです。それでも、地震時に崩壊する例が少なくありません。排水が悪いと、豪雨時に崩壊する可能性もあります。従って、長期に安定している保証はありません

斜面に平地を建設する様々な工法

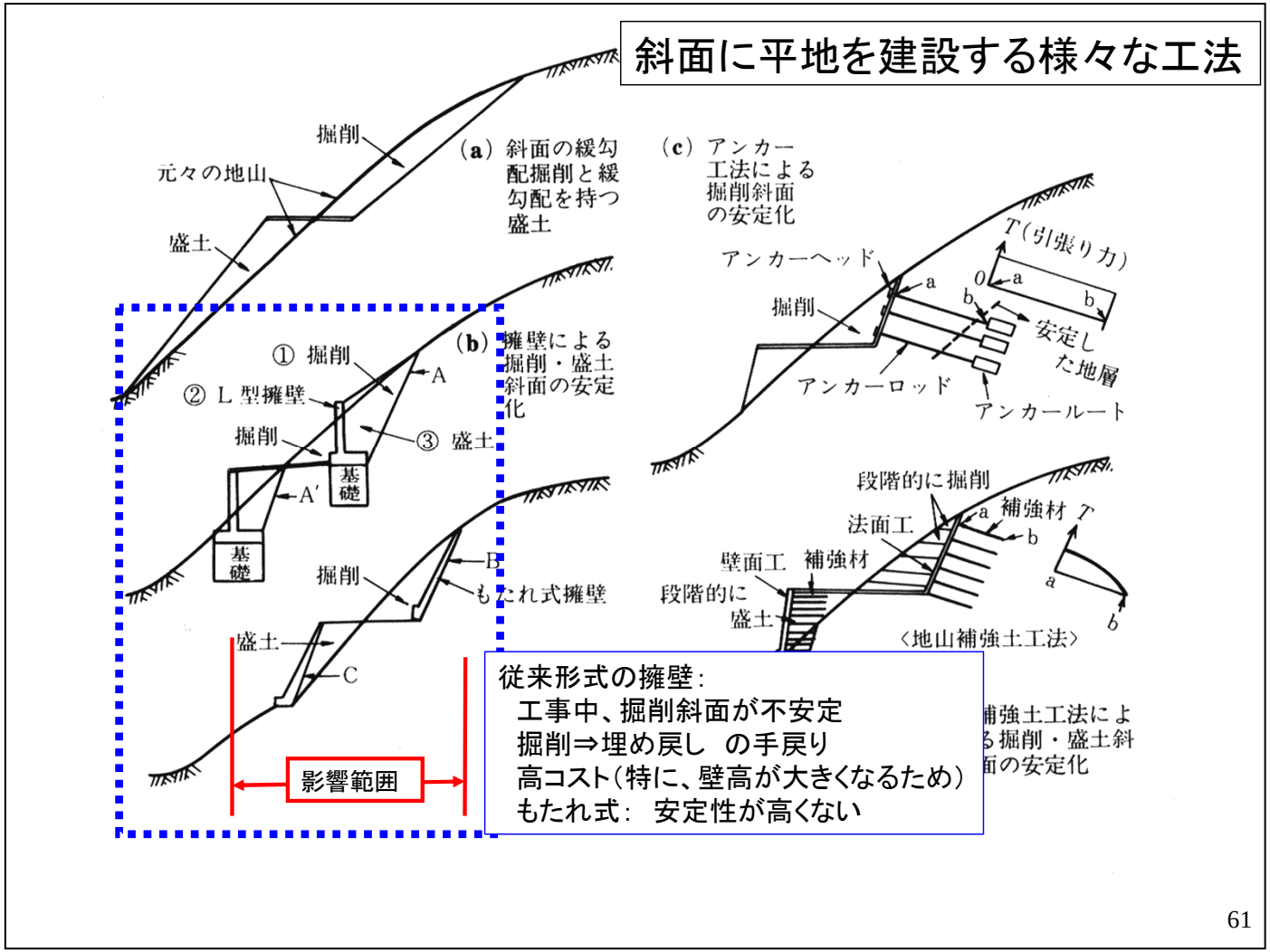


この従来工法では、自然環境が改変される影響範囲が非常に広くなり、施工期間も長くなります。

さらに、掘削斜面は、安定化のためにコンクリートを吹き付ける場合が多く、樹木を伐採するだけでなく、完成後に美観上の問題が生じます。次頁はその例です。

中央高速八王子～高尾間
従来の切り取り斜面
（コンクリート吹付）

従来の切り取り斜面
（コンクリート吹付）



左下も従来工法ですが、近代的な工法であり、山側の斜面と谷側の斜面に擁壁を建設する方法です。

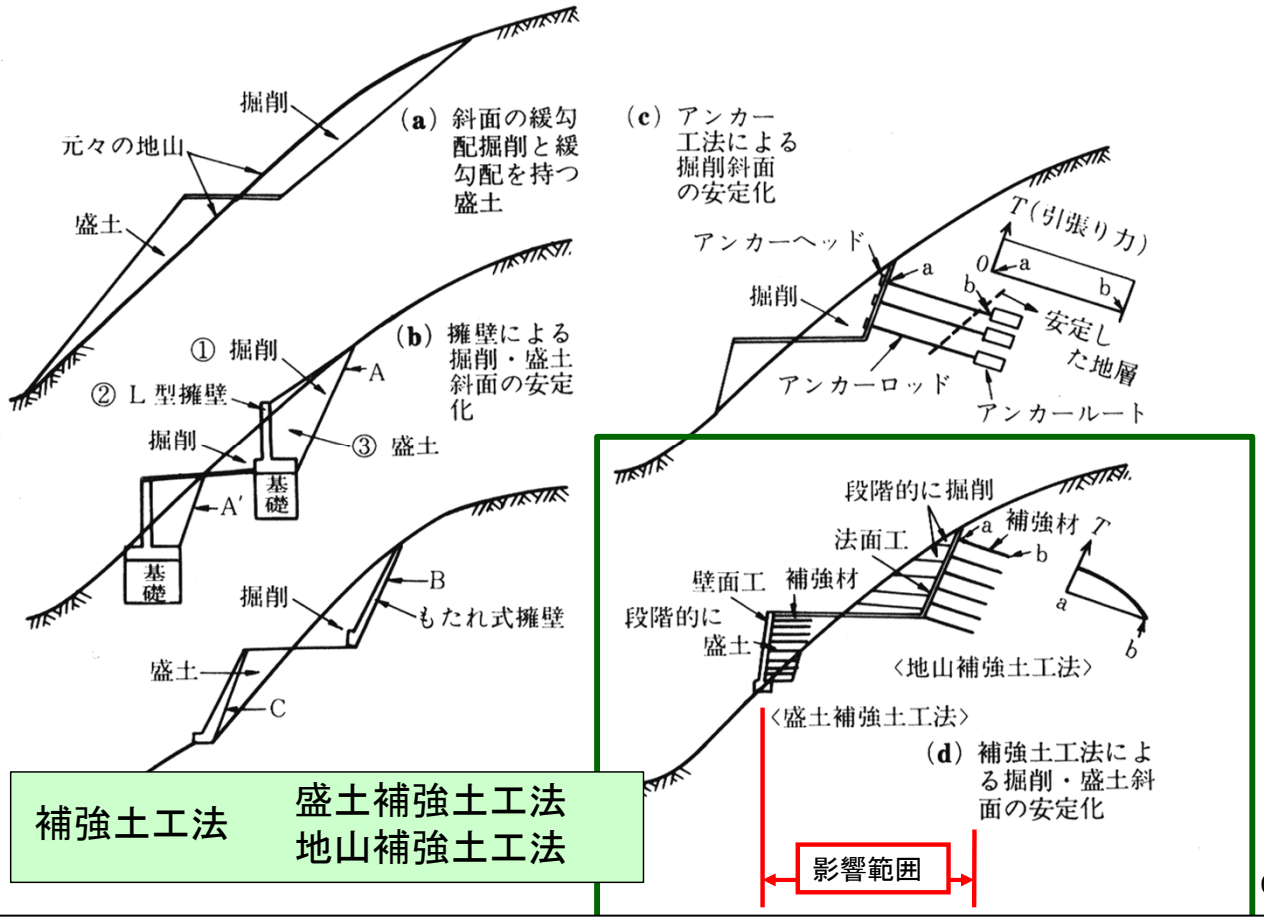
これも、色々問題があります。

山側の斜面に擁壁を建設するためには、一旦斜面を急勾配に掘削しますが、大変不安定です。何も安定化工法を採用しない場合が多いので、工事中に崩壊して大事故になる例が少なくありません。

また、谷側の擁壁は、支持地盤が不安定なため、地震時に崩壊する例が少なくありません。

総じて、山岳部の擁壁は高くなりがちですが、擁壁は高くなるほど急速に大型化して、コストが急上昇します。

斜面に平地を建設する様々な工法



補強土工法　盛土補強土工法
地山補強土工法

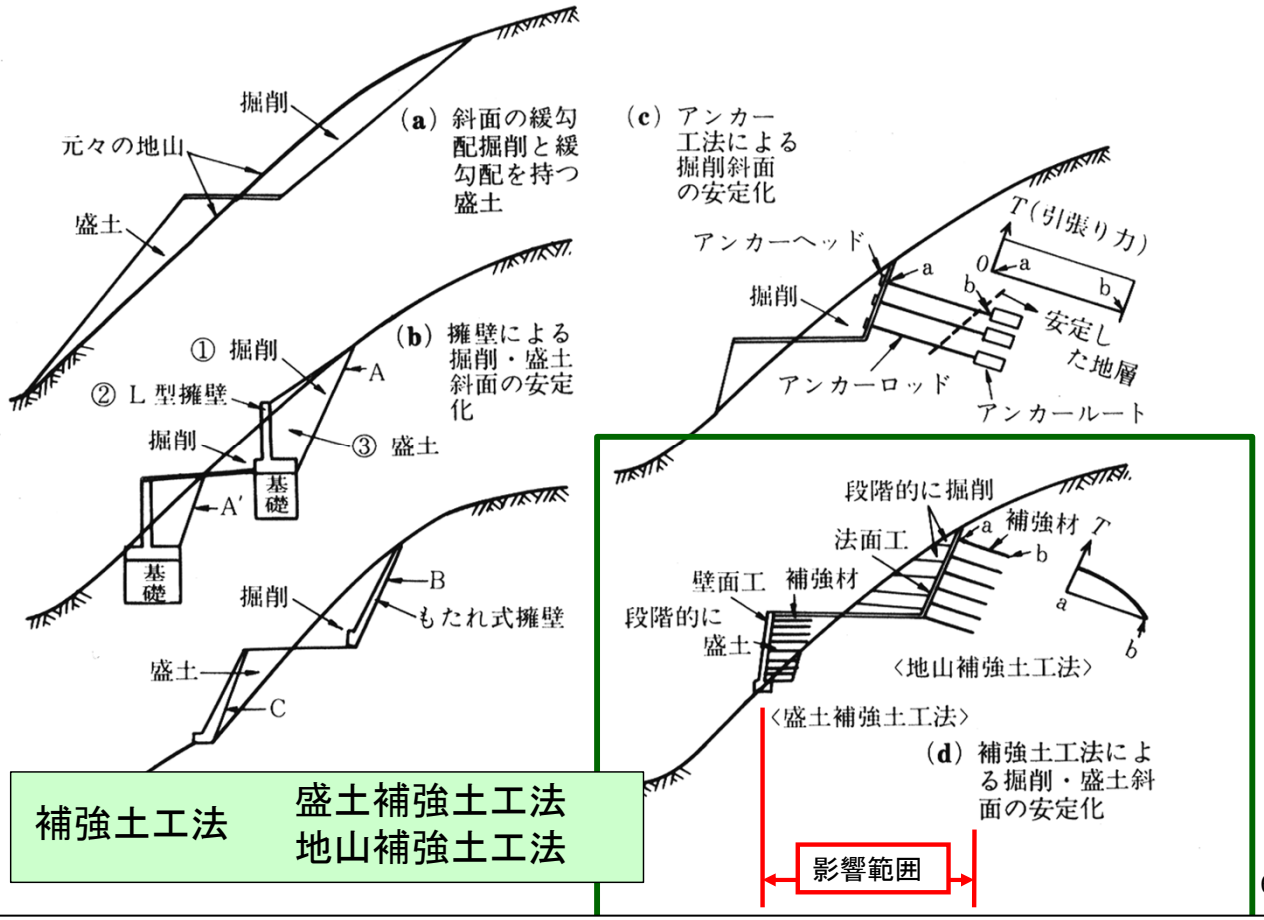
右下は、山側の斜面を地山補強土工法で安定な急斜面にして、谷側の斜面には盛土補強土工法で安定な擁壁を建設する、と言った、新しい工法を示しています。

地山補強土工法によって山側の斜面は急勾配でも安定的に掘削できるので、掘削量が少なくなります。

谷側の擁壁は壁面が鉛直に近いので、盛土量は少なくなっています。

従って、工事による影響範囲が狭くなり、環境に対するインパクトが小さくなります。また、斜面の掘削土で盛土を建設して切り盛りのバランスをとれば、非常に経済的になります。

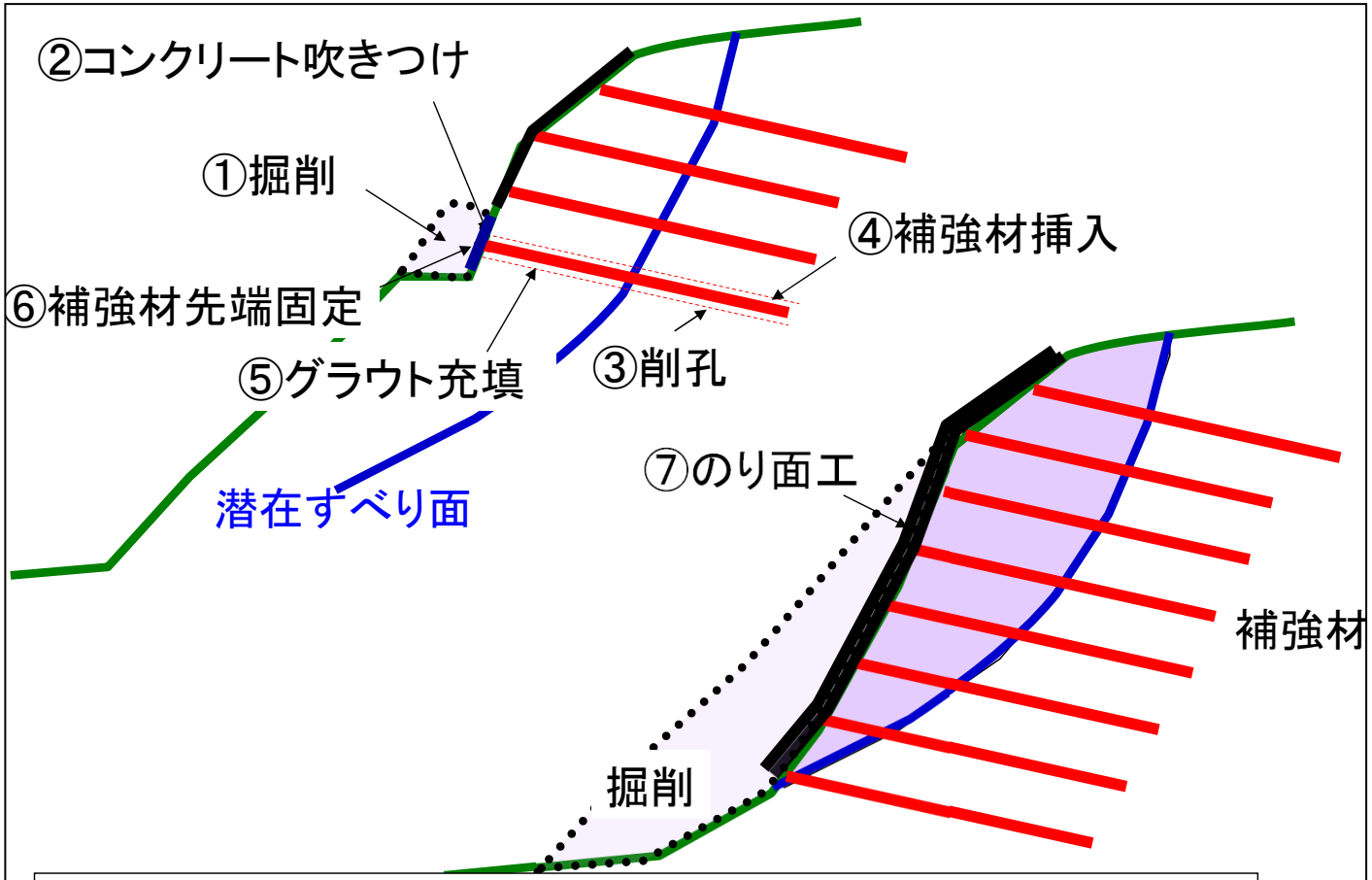
斜面に平地を建設する様々な工法



補強土工法　盛土補強土工法
地山補強土工法

また、山側の掘削斜面は、補強材によって安定化していることに加えて、膨張することが抑制されているので長期に亘る風化が生じにくいと言う利点があります。

谷側の補強土盛土も、盛土が無補強の擁壁よりも、はるかに安定しています。



地山補強土工法による掘削斜面の安定化の模式図
（数字は工程順を表す）

これは、地山補強土工法で地山斜面を段階的に掘削して安定な急勾配のり面を建設する方法の説明です。

各段階では、①～⑥の作業を行い、これを繰り返してゆきます。最終的には、

最終的には、⑦補強材の先端に固定しながら、のり面工を施工して完成させます。

段階的に掘削しながら補強してゆくので、大型建設機械は不要であり、安定を保ちながら施工を進めて行けます。

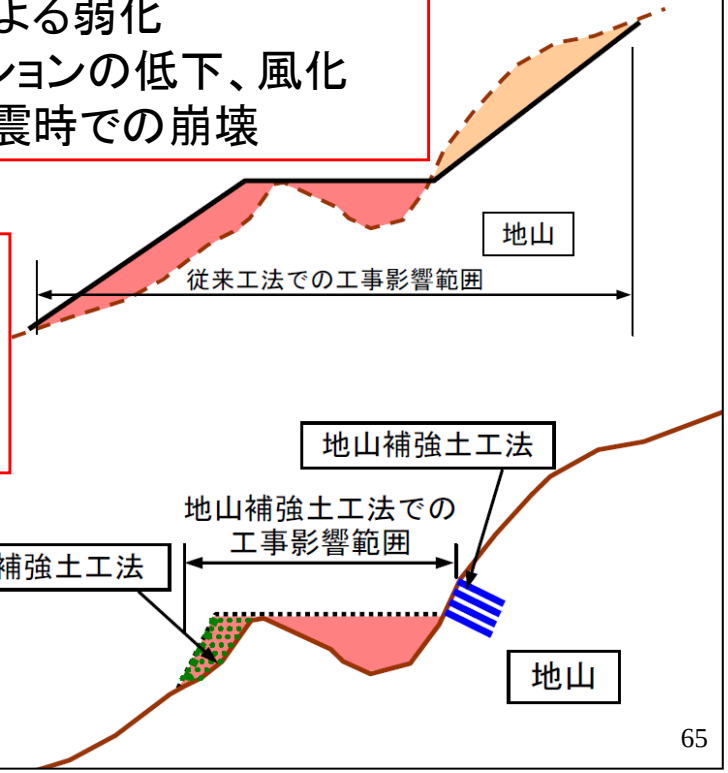
山間部に飛行場を建設する方法

従来工法

切土：　緩勾配
　　⇒ 広範囲で工事、環境への影響
拘束圧の低下による弱化
長期に亘るサクションの低下、風化
　⇒降雨時・地震時での崩壊

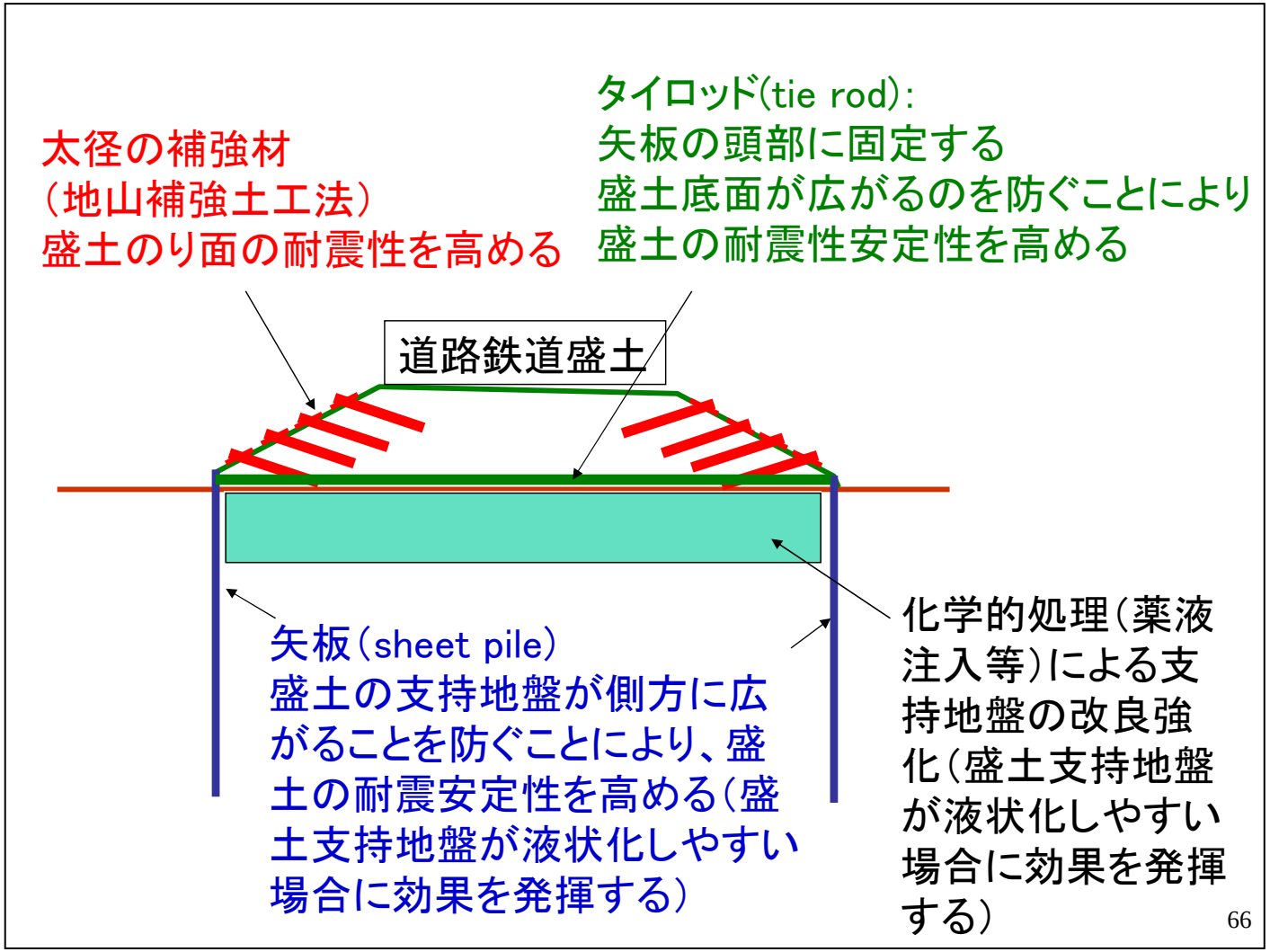
盛土：　緩勾配
　　⇒ 広範囲で工事、影響
締固めの困難さ
　　⇒降雨時地震時での崩壊

補強土工法



これは、山間部に飛行場などの盛土を従来工法で建設する場合と、盛土補強土工法と切土補強土工法を活用して建設する場合の対比です。

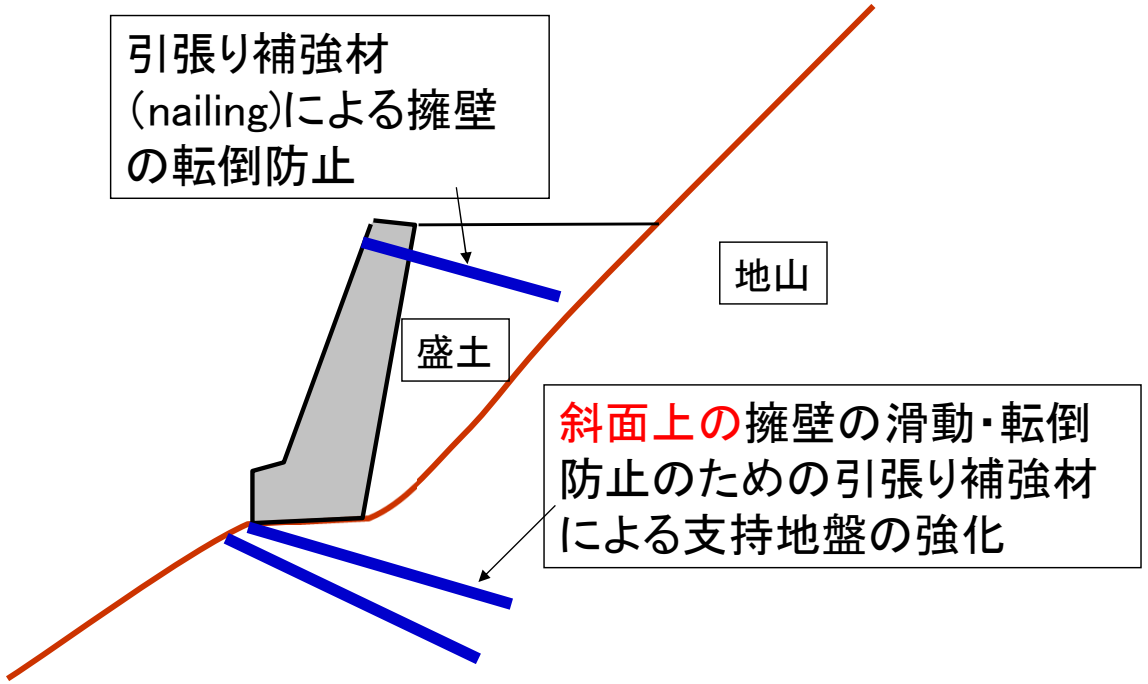
どちらがより合理的なのか、すなわち、より安定であり、より経済的であり、より環境への影響が少ないのか、容易に理解できると思います。



また、地山補強土工法は、既設の盛土の安定化にも活用されています。

これは、古い技術で建設された道路や鉄道の盛土を、様々な地盤強化・改良技術で、耐震強化する方法です。

既設の従来式擁壁の地山補強土工法による耐震補強

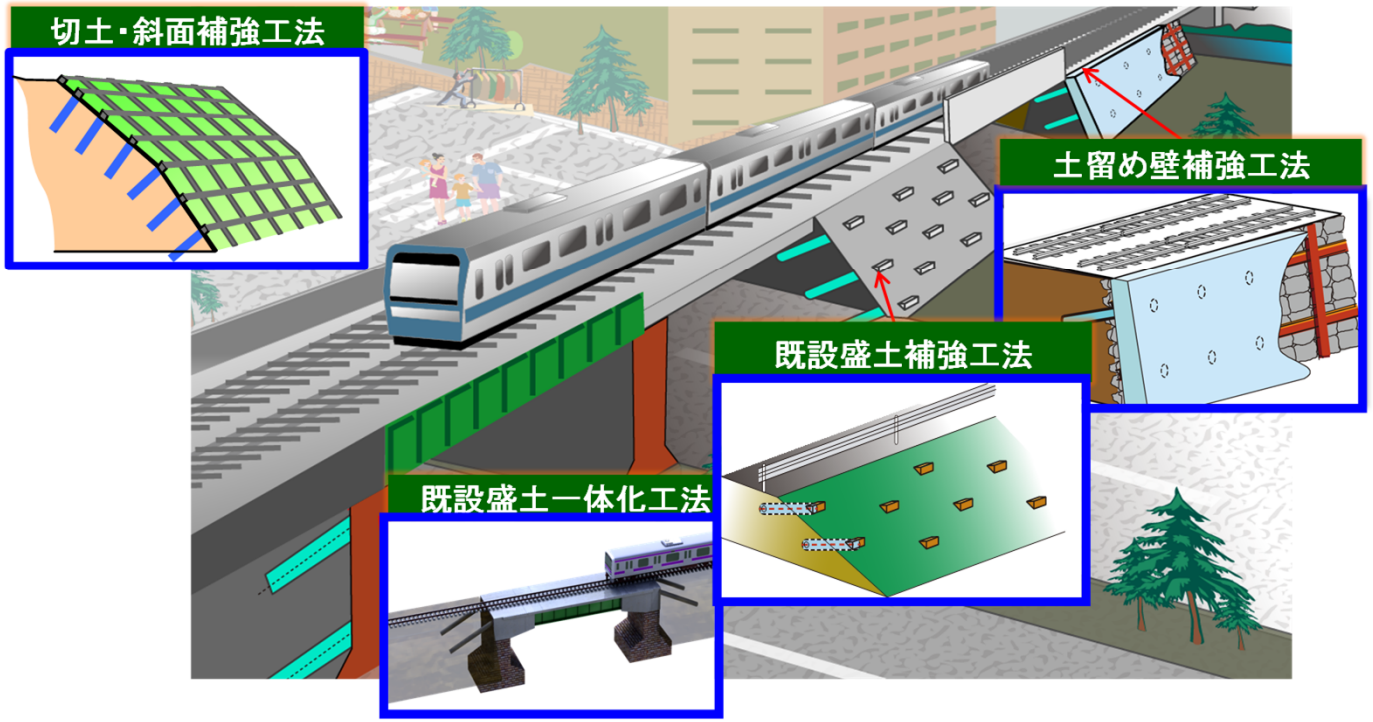


斜面上の古い技術で建設された既設の片持ち梁形式の擁壁は、地震時に不安定化する虞があります。

その対策として、擁壁の支持地盤の支持力向上と擁壁の転倒防止に地山補強土工法は有効です。

土構造物の補強技術

●対象が膨大である土構造物を合理的に耐震補強するためには、地山補強材を用いて構造変更し、破壊を延性的にすると良い。



鉄道技術研究所舘山勝氏による

我が国では鉄道の歴史は大変古く、都市部には古い時代に建設された鉄道が多い。

これらには、耐震性が十分でない土擁壁、盛土、切り取り斜面などの土構造物が多い。

地山補強土工法は、これらの耐震補強に活用されています。

大規模補強事例（JR東日本）

首都直下地震対策　●地山補強材による補強が全面的に採用された。

凡例

高架橋、橋脚、電化柱、駅・ホームの天井・壁の耐震補強対象線区

- ・南関東エリア内新幹線
- ・南関東エリア内 ピーク時1時間当り片道10本以上の在来線

盛土、切土、ﾚﾝｶﾞｱｰﾁ高架橋等の耐震補強対象線区

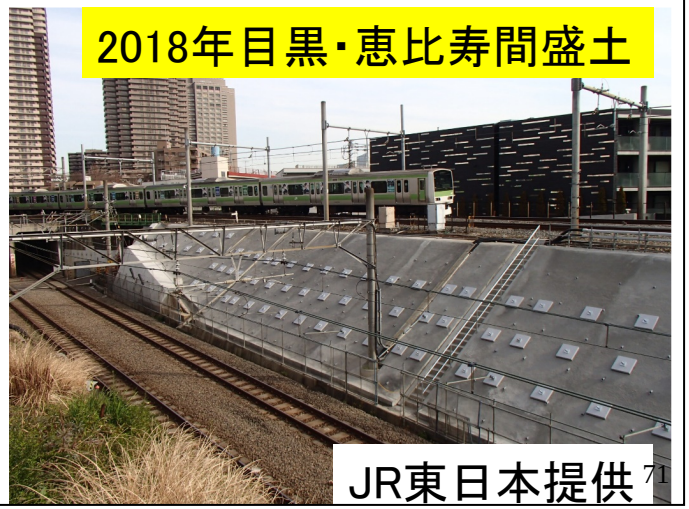
盛土、切土、ﾚﾝｶﾞｱｰﾁ高架橋等の耐震補強対象線区 【9線区 約220 km】		
（内訳）	山手線	約 34 km
	中央線	約 37 km
	常磐線	約 16 km
	総武線	約 27 km
	京葉線	約 32 km
	東北線	約 23 km
	東海道線	約 40 km
	赤羽線	約 6 km
	埼京線	約 5 km

引用先：JR東日本ホームページ　プレス発表http://www.jreast.co.jp/press/2011/20120305.pdf

3,000億円/5年間を二期：　現在は二期目

JR東日本は、首都圏の鉄道の盛土、擁壁、切り取り斜面の耐震補強に莫大な投資をしている。

これは、地山補強土工法による既設の石積み擁壁の耐震補強したものであり、壁面は補強材と連結したRC壁面工で覆っています。



これらは、他の例です。注意を払えば、皆様も気が付きます。

これで第一回目の講義は終わりです。