

平成23年9月9日

# 被災宅地の復旧検討 「折立五丁目地区」

1. 概要書

|     |     |     |       |      |                 |
|-----|-----|-----|-------|------|-----------------|
| 区 名 | 青葉区 | 地区名 | 折立五丁目 | 主な街区 | 5・6・7・8・9番街区の一部 |
|-----|-----|-----|-------|------|-----------------|

【被害概要】

|      |   |                        |     |      |
|------|---|------------------------|-----|------|
| 被害分類 |  <p>被災タイプ A      被災タイプ B      被災タイプ C</p> |                        |     |      |
| 被害宅地 | 面積  | 約 22,000m <sup>2</sup> | 宅地数 | 48宅地 |

被害要因



① 谷埋め型盛土に起因



② 腹付け型盛土に起因



③ 地すべり地形に起因



④ 切盛境界に起因



⑤ 擁壁の安定性不足に起因



⑥ 緩い盛土に起因



⑦ 地盤の液状化に起因

【平面図（被災状況写真位置図）】



【被災状況写真】



写真-1



写真-2



写真-3



写真-4

【位置図】



被災地

Yahoo!地図より引用・加筆



# 2. 変状メカニズム（滑動崩落）

旧地形および地質調査より、当該地は地下水位が豊富であり、地表面に近い盛土は、礫混じり粘性土質でありN値 1～2の非常に柔らかい性状であることが判明した。脆弱部分の広がり、表面波探査結果の脆弱領域とも整合が取れている。

地表踏査の結果、地表面にみられるクラックや段差には、規則性がみられ、いわゆる雁行状の配列となる。これらの配列は、旧沢地形に沿った斜面下方への移動を示しており、変状範囲がブロック状の滑動により斜面下方に移動したことがわかる。ボーリングの結果、谷埋め盛土として造成された深度は、変状域上部で6～8mとなり、下部で8m程度となる。

N値による確認では、盛土と地山の強度差ははっきりしており、地震動により形成されたすべり面は、地山と盛土の境界付近であると考える。

今回の地震動は、震度6弱と大きく、継続時間も長かった。このため、当該地の変状は、地震動により形成されたすべり面を使って、ブロック状に斜面下方へ宅盤が移動したために発生した、広域的な変状であると考える。

|    |  |
|----|--|
| 素因 | <ul style="list-style-type: none"><li>地下水位が高い</li><li>盛土のN値は、1～2 と非常に柔らかい</li><li>谷地形に盛られた谷埋め盛土(地山との境界に大きな強度差)</li></ul> |
| 誘因 | <ul style="list-style-type: none"><li>最大震度6弱(仙台市青葉区、2011 年 3 月 11 日発生)</li><li>継続時間の長い地震動</li></ul>                      |



|      |  |
|------|--|
| 変状発生 | <ul style="list-style-type: none"><li>地震動により形成されたすべり面に沿って、ブロック状に宅盤が広域変形したために、宅地に変状が発生した。</li><li>脆弱化した土塊内では、部分的に円弧すべりの発生や盛土自体の圧縮沈下がみられ、擁壁の転倒・宅地の陥没等が発生した</li></ul> |
|------|--|

表-6.2.2 N 値と砂の相対密度の関係(Terzaghi and Peck<sup>1)</sup>)

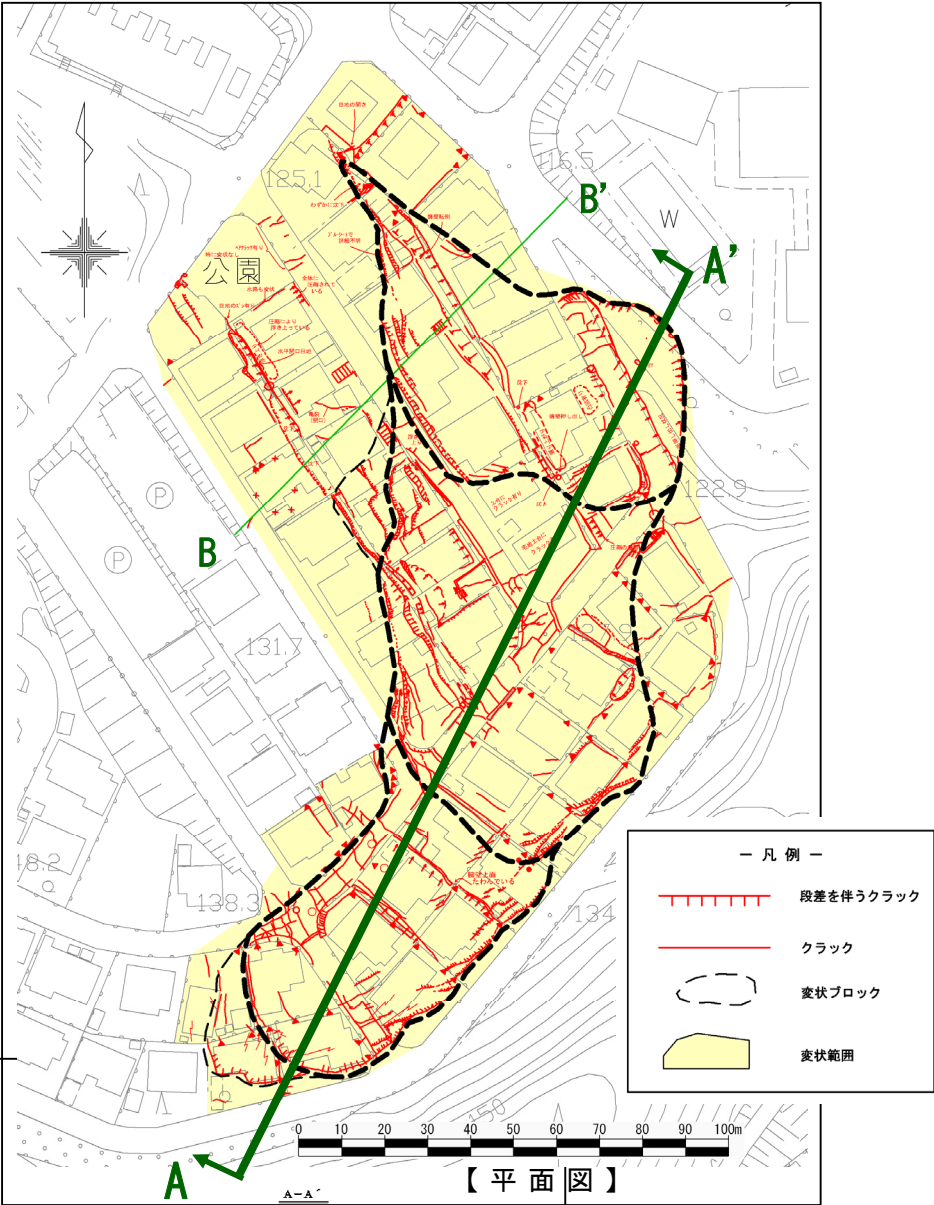
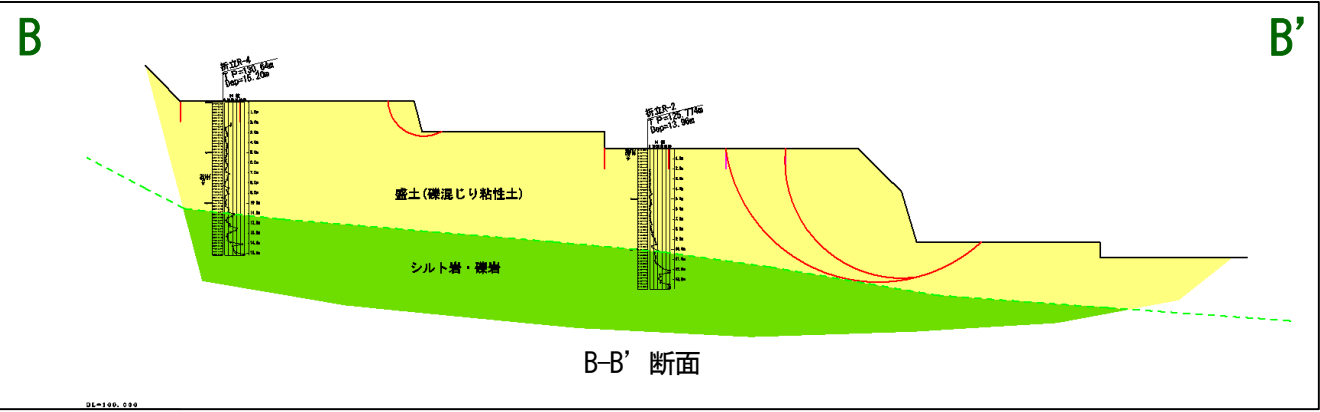
| N 値   | 相対密度<br>(Terzaghi and Peck) | 現場判別法                        |
|-------|-----------------------------|------------------------------|
| 0～4   | 非常に緩い(very loose)           | 鉄筋が容易に手で貫入                   |
| 4～10  | 緩い(loose)                   | ショベル(スコップ)で掘削可能              |
| 10～30 | 中位の(medium)                 | 鉄筋を5ポンドハンマーで打込み容易            |
| 30～50 | 密な(dense)                   | 同上、30 cm 程度貫入                |
| >50   | 非常に密な(very dense)           | 同上、5～6 cm 貫入、掘削にはし必要、打込み時金属音 |

注) 鉄筋は φ13 mm

表-6.2.4 N 値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係 (Terzaghi and Peck<sup>1)</sup>)

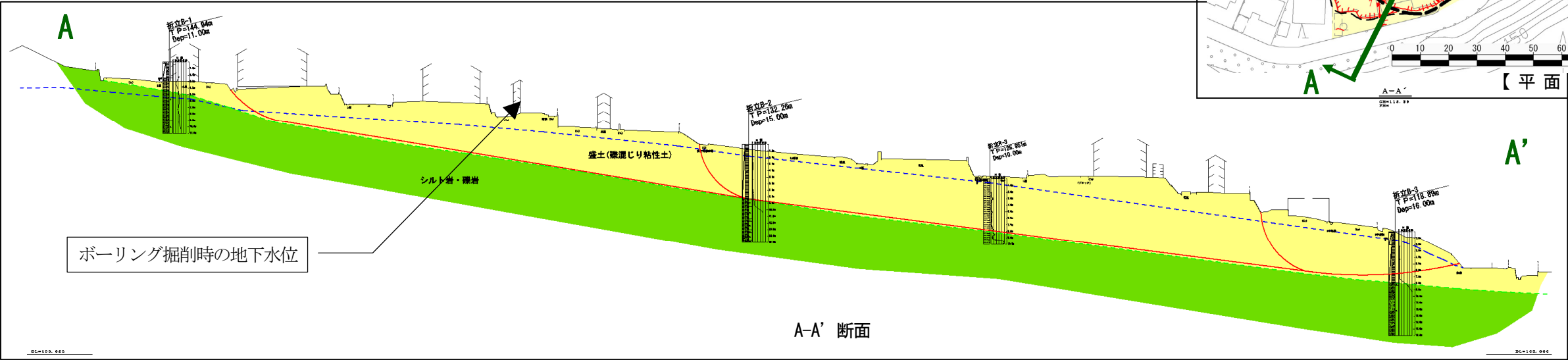
| N 値   | q <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) | コンシステンシー |
|-------|-------------------------------------|----------|
| 0～2   | 0.0～24.5                            | 非常に柔らかい  |
| 2～4   | 24.5～49.1                           | 柔らかい     |
| 4～8   | 49.1～98.1                           | 中位の      |
| 8～15  | 98.1～196.2                          | 硬い       |
| 15～30 | 196.2～392.4                         | 非常に硬い    |
| 30～   | 392.4～                              | 固結した     |

社)地盤工学, 2004. 6, 地盤調査の方法と解説  
p263 および p267 より引用



当該地の変状は、概ね次の通りの機構が想定される。

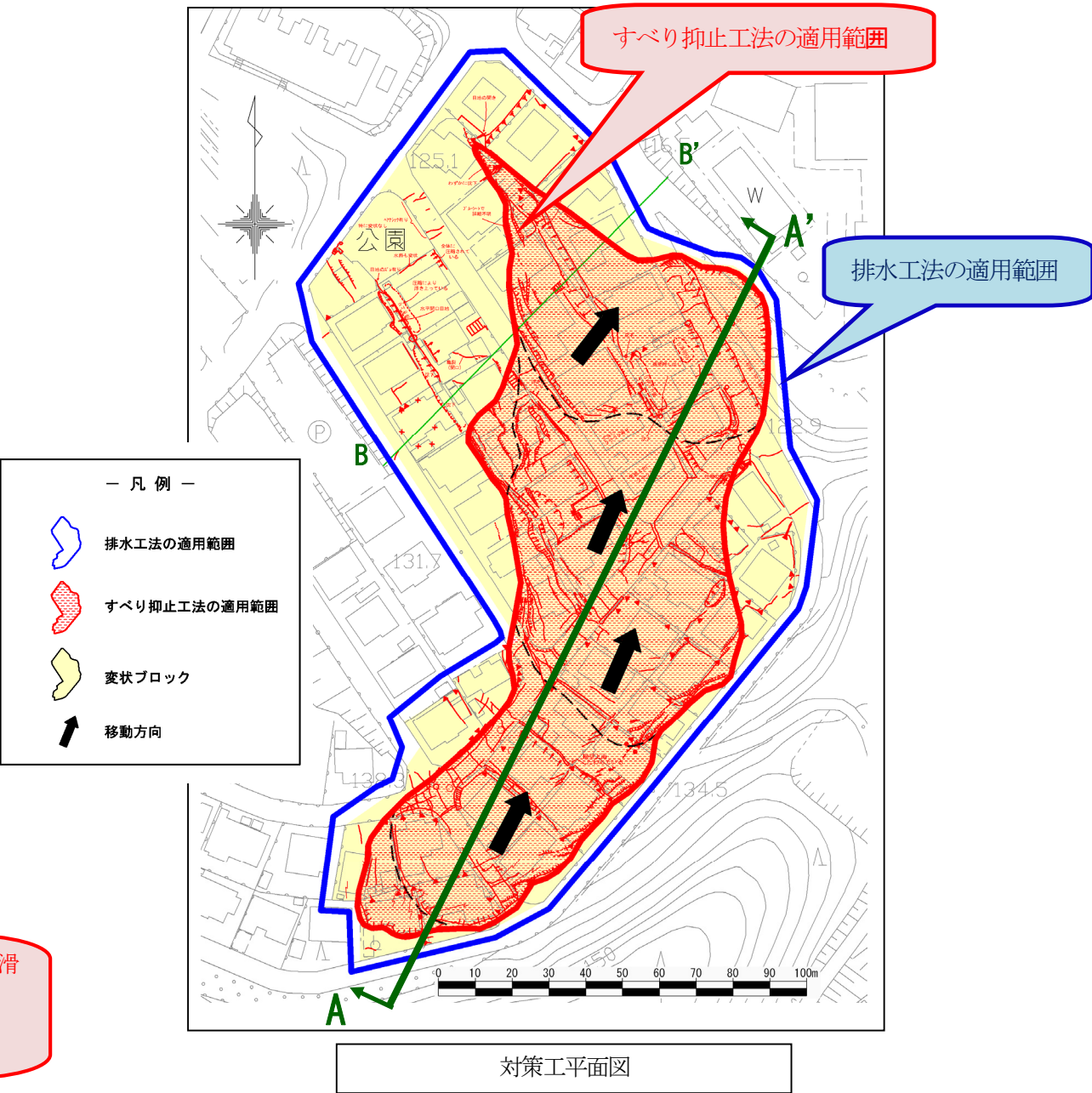
- ◆大きな連続した変形は、地山-盛土境界に発生した連続した地すべり状の変状である(A-A' 断面)。
- ◆部分的には、円弧すべりが発生しており、擁壁が転倒している(B-B' 断面)。



### 3. 対策方針（滑動崩落対策）

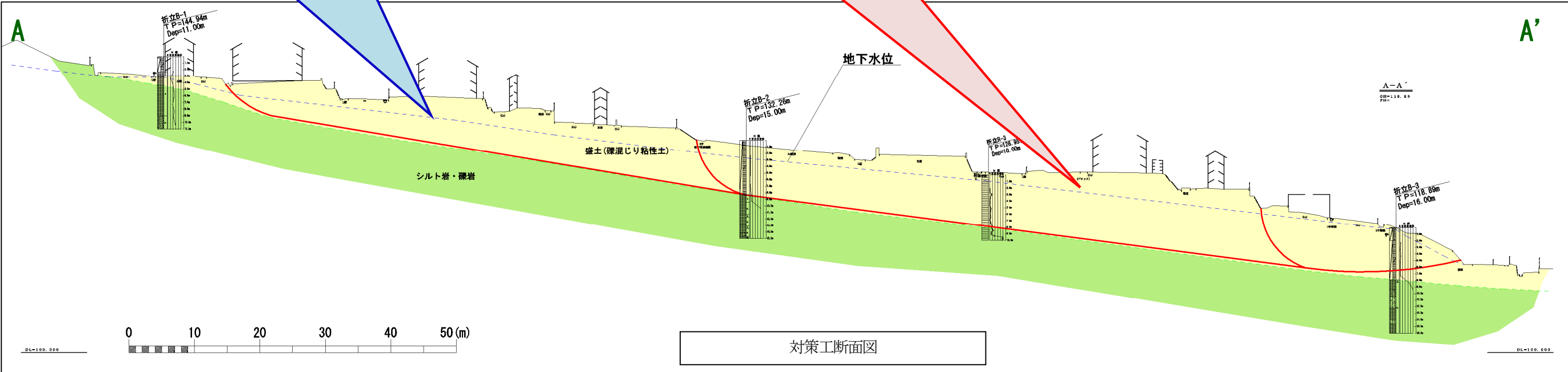
本地区の変状は盛土面と地山の境界面での滑動崩落に起因していることから、工法としては地すべり的な移動を防止することを優先する必要がある。滑動崩落への対策としては、宅地の平均勾配・用地的制約から杭工（ブロックごとに配置）が有効と考えられる。また、地下水が高いことから、地下水排除工（暗渠など）を実施することも重要である。これらを実施したのち、各宅盤の擁壁の補修を実施する必要がある。また、小学校の保全のため、下端の石積擁壁は十分な配慮が必要である。

【説明】対策工のうち、抑制対策としては、押え盛土工と排土工が考えられる。押え盛土工は、末端部に折立小学校があることや、地すべり末端部の標高が比較的高いことから、押え盛土の高さが高くなり、その面積も広大となることから、適用が困難である。また、排土工は、変状している宅地と変状していない宅地が隣接しているため、排土の影響が変状していない宅地に及ぶことから適用が困難である。抑止対策としてはアンカー工と杭工が考えられるが、アンカー工は現在想定されるブロック移動の断面形状から、アンカー受圧板を設置する箇所がないことや、宅盤の下にアンカーが配置されることから、用地制約等の問題が発生するため、適用が困難である。杭工については、設置する箇所の面積が少なく、比較的宅地に与える影響面積が少ないことから、当該地の対策工として適していると判断される。また、盛土の地下水位が高いことから、地下水位を低下することは長期わたっての安定を確保するためには有効である。盛土の材質が粘土質であることから暗渠など設置し、できるだけ地下水の排水効果を上げる必要である。



盛土内の地下水位が非常に高いことから、暗渠工などにより、地下水を排除し、盛土内の地下水位を低下させる。

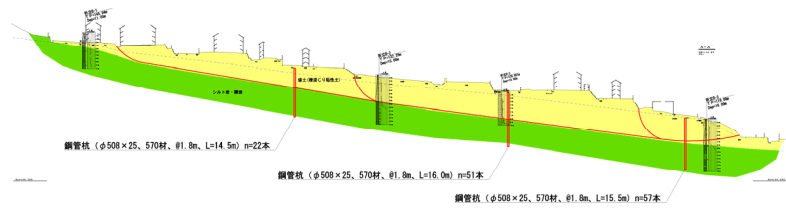
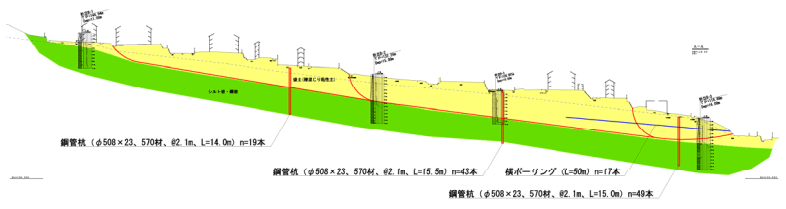
杭工（鋼管杭）などを打設することにより、滑動崩落を防止する。



# 参考資料



1. 工法比較表＜滑動崩落対策＞

|         |    |  |  |  |
|---------|----|--|--|--|
| 変状メカニズム |    | 本地区は、旧谷地形を埋立て造成されたいわゆる谷埋め盛土部に位置する。盛土部が地震動を受けて移動し、地表部に段差・クラックなどを生じたものと推定される。盛土部の移動は、その方向や移動量から、大きく３つのブロックに区分でき、下部ブロックほど移動量が増加する。移動はいずれも旧谷地形の下流方向に向かっており、最大 2m 程度である。このため、ひな壇上の宅地区画を隔てる擁壁や道路の変状も著しい。また、最末端の先には折立小学校が位置し、小学校の入り口の斜面盛土が一部、崩壊している。盛土中の地下水位は高く、降雨にも敏感に反応している。 <u>以上から、盛土地盤が地震動によって旧谷地形部付近を境界面とし概ね旧谷方向に移動（滑動崩落）した結果、地表の宅盤や擁壁に変状をもたらしたと推定される。また、ブロック外でも地震動により緩みを生じた盛土部で擁壁の転倒等の変状が発生した。</u> |  |  |
| 対策方針    |    | 本地区の変状は盛土面と地山の境界面での滑動崩落に起因していることから、工法としては地すべり的な移動を防止することを優先する必要がある。 <u>滑動崩落への対策としては、宅地の平均勾配・用地的制約から杭工（ブロックごとに配置）が有効と考えられる。</u> また、地下水が高いことから、地下水排除工（大型暗渠など）を実施することも重要である。これらを実施したのち、各宅盤の擁壁の補修を実施する必要がある。また、小学校の保全のため、下端の石積擁壁は十分な配慮が必要である。  |  |  |
| 工法案     |    | A 案  | B 案  |  |
| 概 要     | 図  |   |  |  |
|         | 説明 | 地すべり土塊内に鋼管杭を建て込み、その抵抗力で地すべりの滑動を抑止する地すべり抑止工である。   | 横ボーリング工で地すべり土塊内の地下水位を低下させ、不足分の抑止力に対して、鋼管杭工を設置し、地すべりを安定化させる工法である。                     |  |
| 対策工     |    | 鋼管杭<br>暗渠工<br>道路復旧<br>擁壁復旧   | 鋼管杭<br>横ボーリング<br>道路復旧<br>擁壁復旧  |  |
| 評 価     |    | 暗渠工を計画しているが、その地下水低下を考慮せずに鋼管杭を設計していることから、安全性が高い。暗渠工により地下水が低下すれば、安全性はさらに向上する。  | 横ボーリングによる地下水低下効果を見込んで鋼管杭を設計しているが、盛土が粘性土であり透水性が低いことから、地下水が期待するほど低下しない危険性がある。          |  |

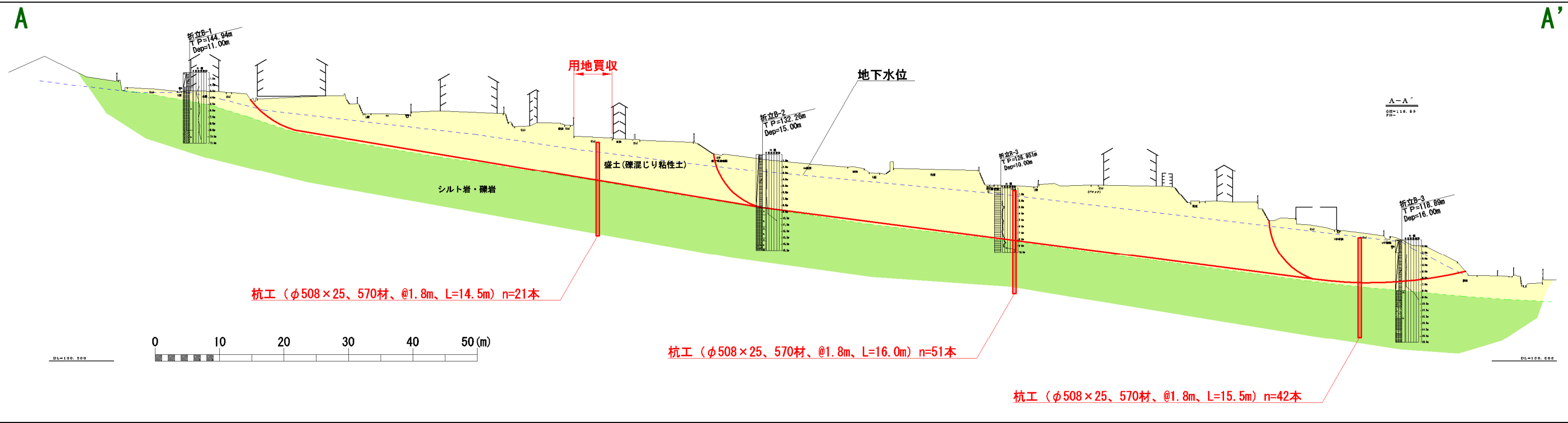
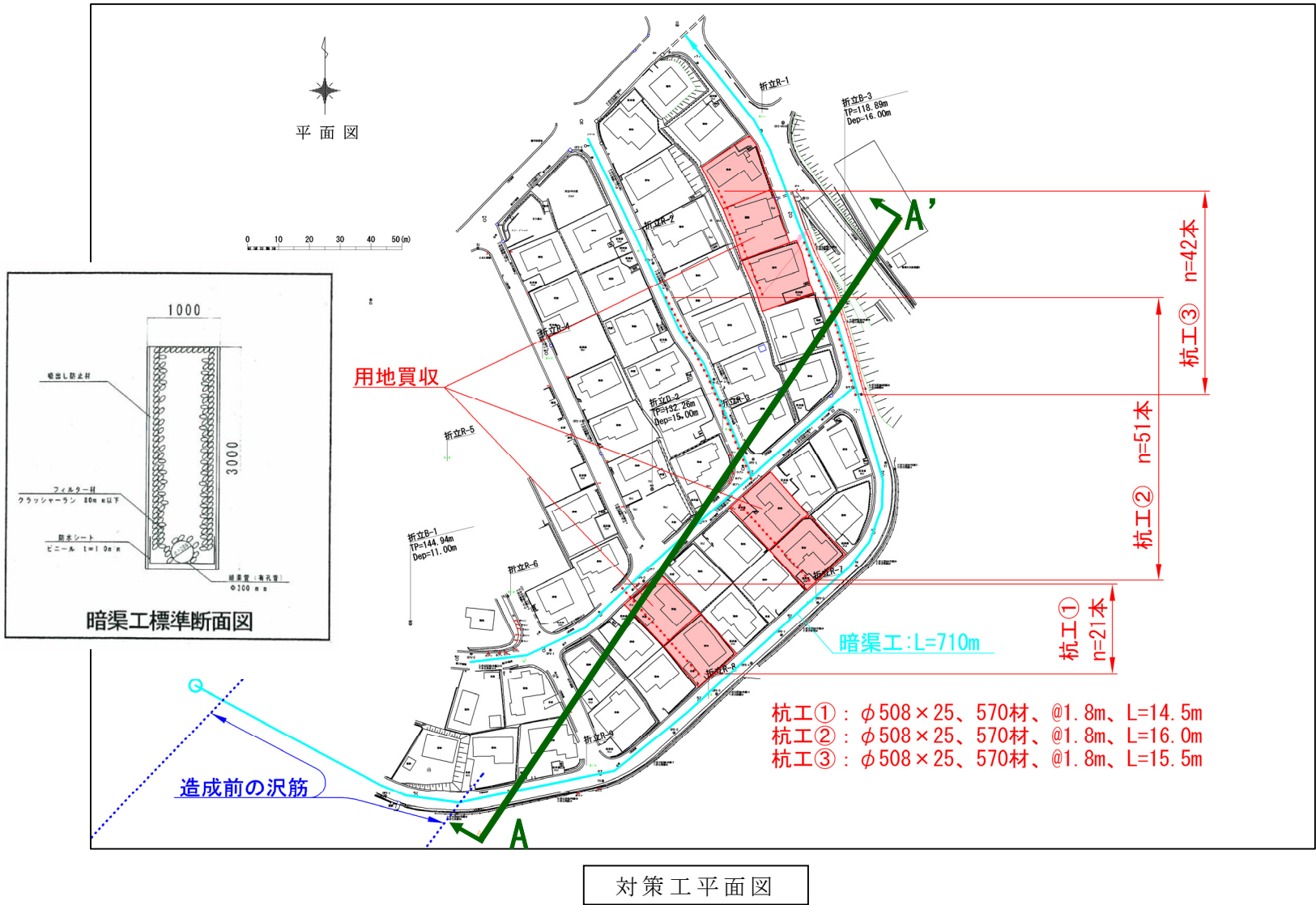
2. 対策工例（滑動崩落対策）

2-1. A 案

滑動崩壊しているブロック内に杭工（鋼管杭）を打設することにより、安全性を向上させる対策である。  
盛土内の地下水位が非常に高い位置にあることから、地下水位低下工法として暗渠工を計画する。

< 計画安全率 >

- ・ 常 時 :  $P.F_s = 1.20$
- ・ 地震時 :  $P.F_s = 1.00$

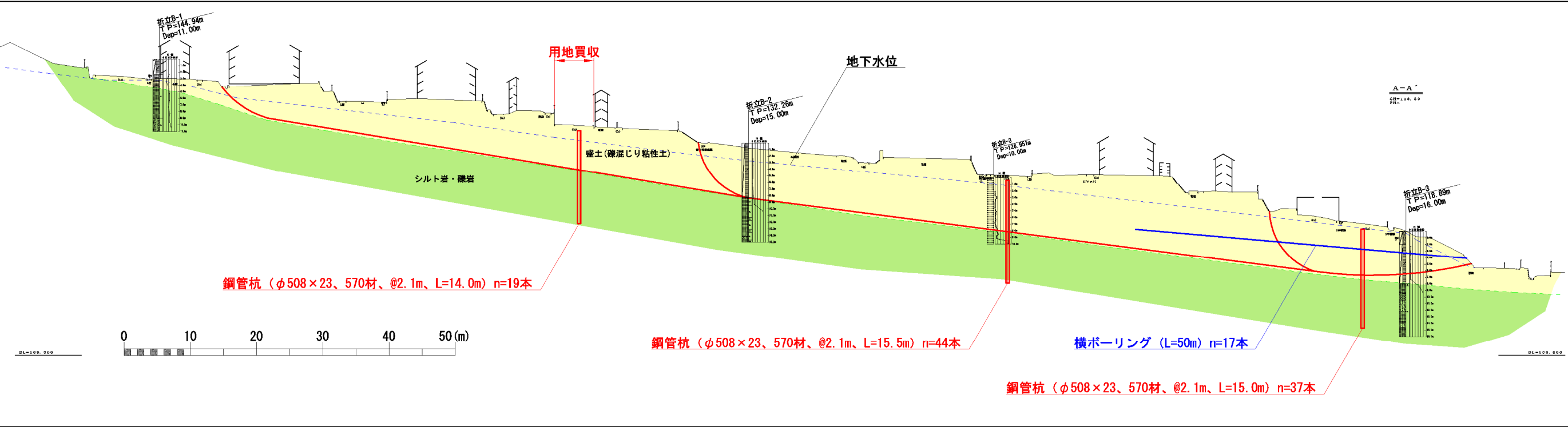
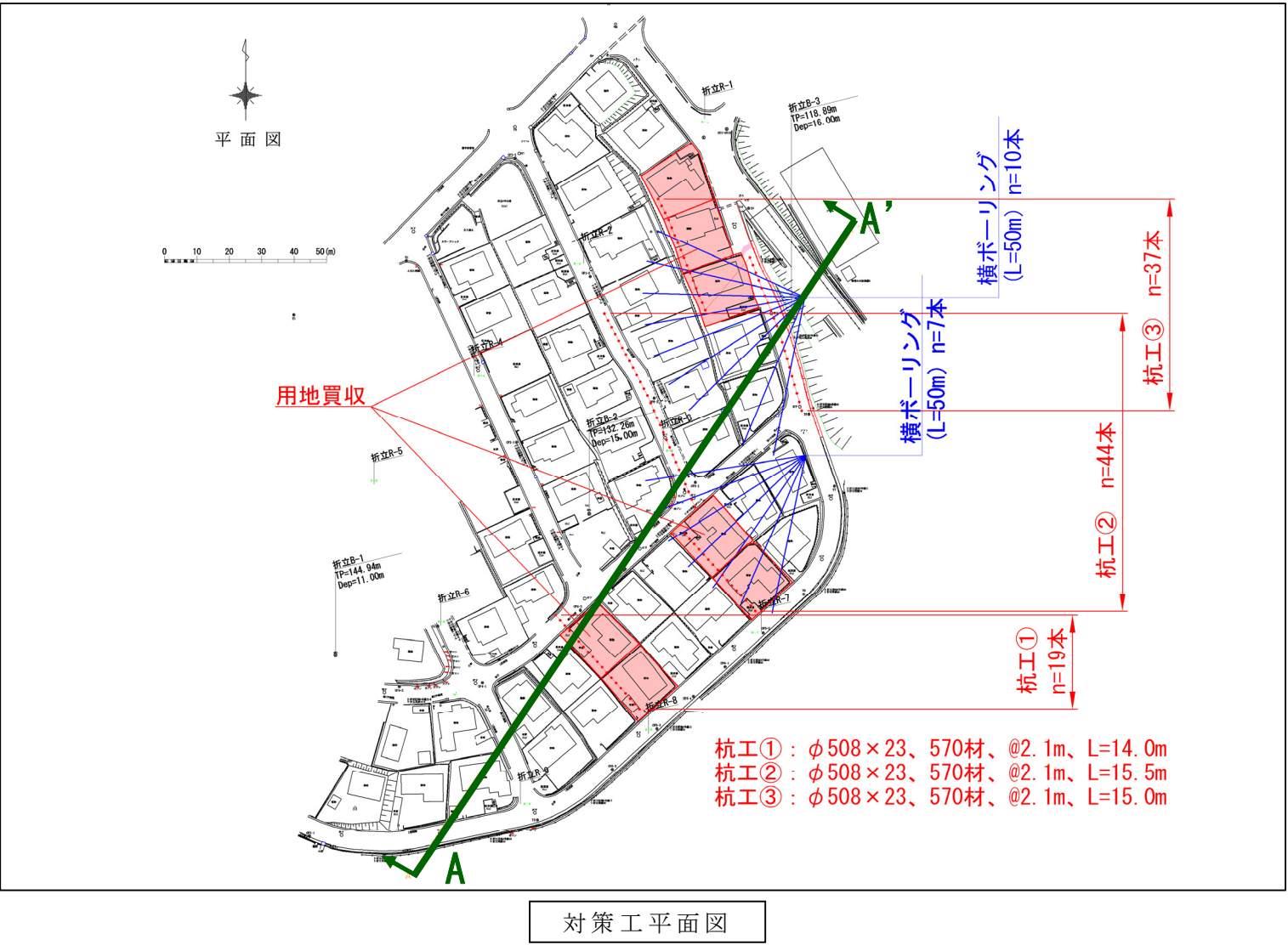


2-2. B 案

横ボーリング工で盛土内の地下水位を低下させ、滑動崩落の安定性を向上させ、不足分の抑止力に対して、鋼管杭工を設置し、滑動崩落を安定化させる対策である。

<計画安全率>

- ・ 常 時 :  $P.Fs = 1.20$
- ・ 地震時 :  $P.Fs = 1.00$



対策工断面図 (A-A' 断面)



# 3. 付帯意見

当地区においては、大規模な変状（宅地盛土地盤全体が地すべりの的に移動するような滑動崩落）ではなく、地震時の地山と盛土の地震応答の差異より、比較的浅い地表部に変状（段差・クラック・移動）が広く生じたとの意見があった。このため、この意見に基づく変状メカニズム・対策方針・対策例について以下に示す。

## 3-1. 変状メカニズム（変形・移動）

旧地形および地質調査より、当該地は地下水位が豊富であり、地表面に近い盛土は、礫混じり粘性土質でありN値 1～2 の非常に柔らかい性状であることが判明した。脆弱部分の広がり、表面波探査結果の脆弱領域とも整合が取れている。

また、地表踏査の結果、浸透水の適切な排水処理が行われている様子は見られなかった。このことから、盛土内部での泥濘化が進行していたと考えられる。

今回の地震動は、震度 6 弱と大きく、継続時間も長かった。このため、脆弱化した盛土内であらゆる方向への振動が伝播・増幅され、擁壁や宅地を破壊した。この時、当該地はひな壇状のなだらかな斜面であるため、重力で下方側に変形・移動した状態で止まったと考える。

|     |  |
|-----|--|
| 素 因 | ・ 地下水位が高い<br>・ 盛土の N 値は、1～2 と非常に柔らかい                 |
| 誘 因 | ・ 最大震度 6 弱（仙台市青葉区、2011 年 3 月 11 日発生）<br>・ 継続時間の長い地震動 |



|         |  |
|---------|--|
| 変 状 発 生 | ・ 地震動により泥濘化された盛土中の特に脆弱な部分（GL-4m 程度）が上下左右に振幅し、盛土の変形・移動および端部で土砂の流出・押し出し変形が発生した。<br>・ 大きな地震動で長時間ゆすられたため、変形した盛土内で盛土自体の圧縮沈下が発生した。 |
|---------|--|

表-6.2.2 N 値と砂の相対密度の関係(Terzaghi and Peck<sup>1)</sup>)

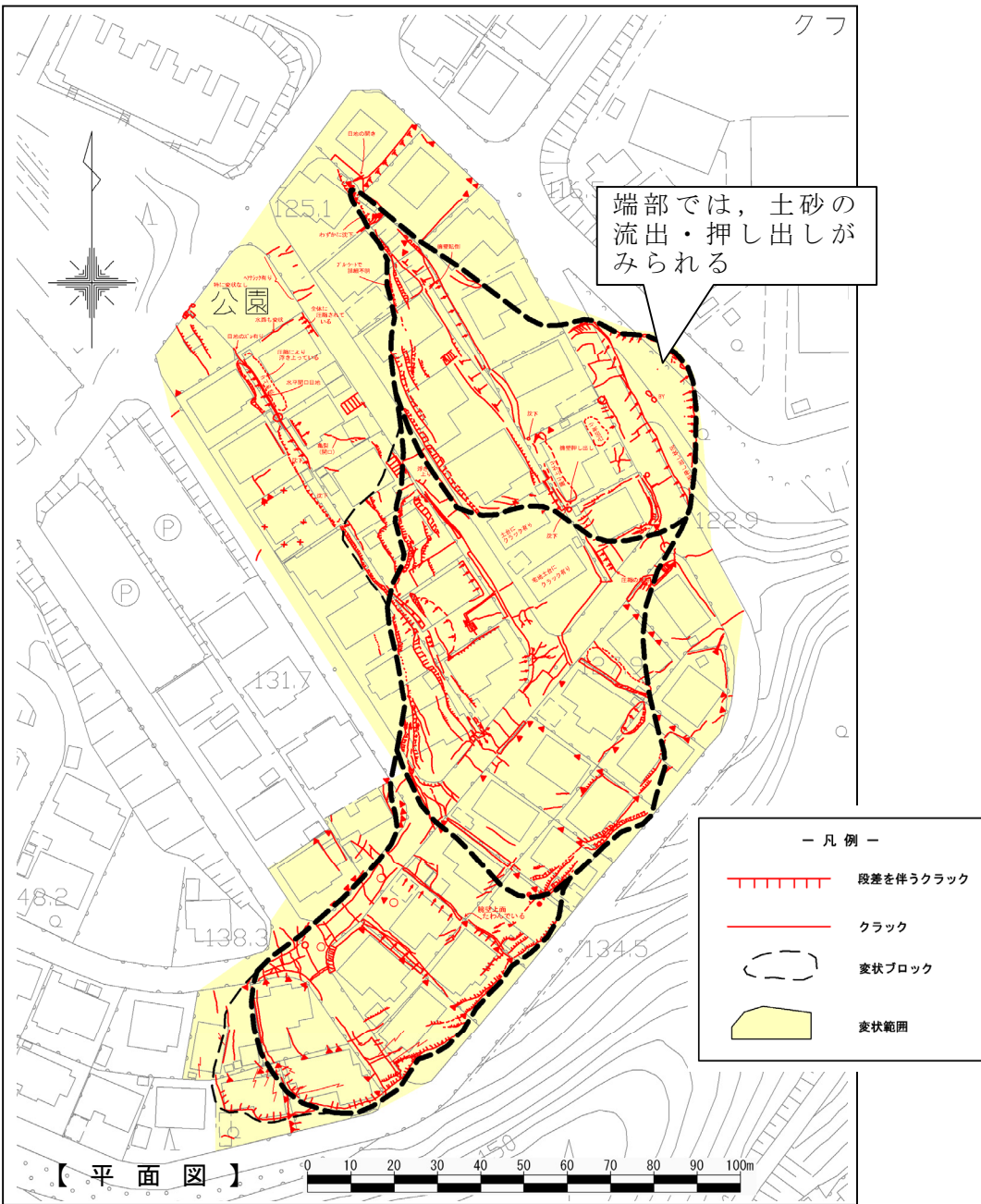
| N 値   | 相対密度<br>(Terzaghi and Peck) | 現場判別法                          |
|-------|-----------------------------|--------------------------------|
| 0～4   | 非常に緩い(very loose)           | 鉄筋が容易に手で貫入                     |
| 4～10  | 緩い(loose)                   | ショベル（スコップ）で掘削可能                |
| 10～30 | 中 位 の(medium)               | 鉄筋を 5 ポンドハンマで打込み容易             |
| 30～50 | 密 な(dense)                  | 同上、30 cm 程度貫入                  |
| >50   | 非常に密な(very dense)           | 同上、5～6 cm 貫入、掘削につらはし必要、打込み時金属音 |

注) 鉄筋は φ13 mm

表-6.2.4 N 値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係 (Terzaghi and Peck<sup>1)</sup>)

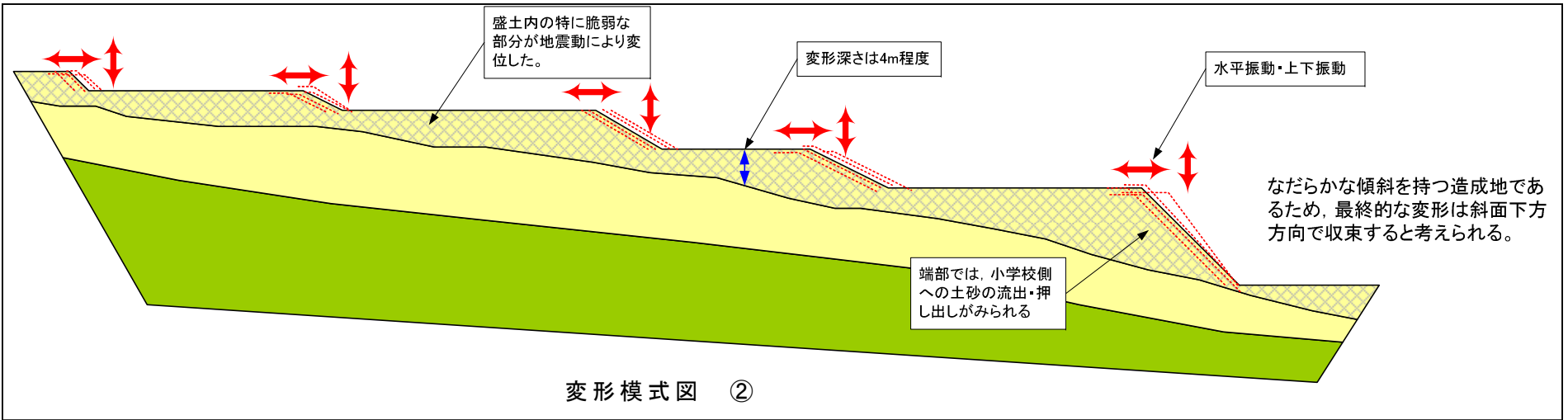
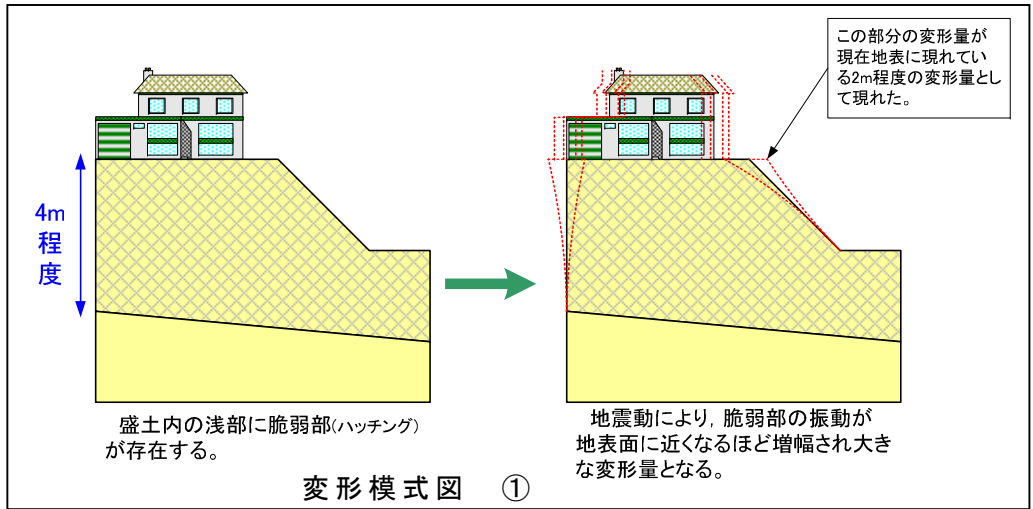
| N 値   | q <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) | コンシステンシー |
|-------|-------------------------------------|----------|
| 0～2   | 0.0～ 24.5                           | 非常に柔らかい  |
| 2～4   | 24.5～ 49.1                          | 柔らかい     |
| 4～8   | 49.1～ 98.1                          | 中位の      |
| 8～15  | 98.1～196.2                          | 硬い       |
| 15～30 | 196.2～392.4                         | 非常に硬い    |
| 30～   | 392.4～                              | 固結した     |

社)地盤工学, 2004. 6, 地盤調査の方法と解説  
p263 および p267 より引用



当該地の変状は、概ね次の通りの機構が想定される。

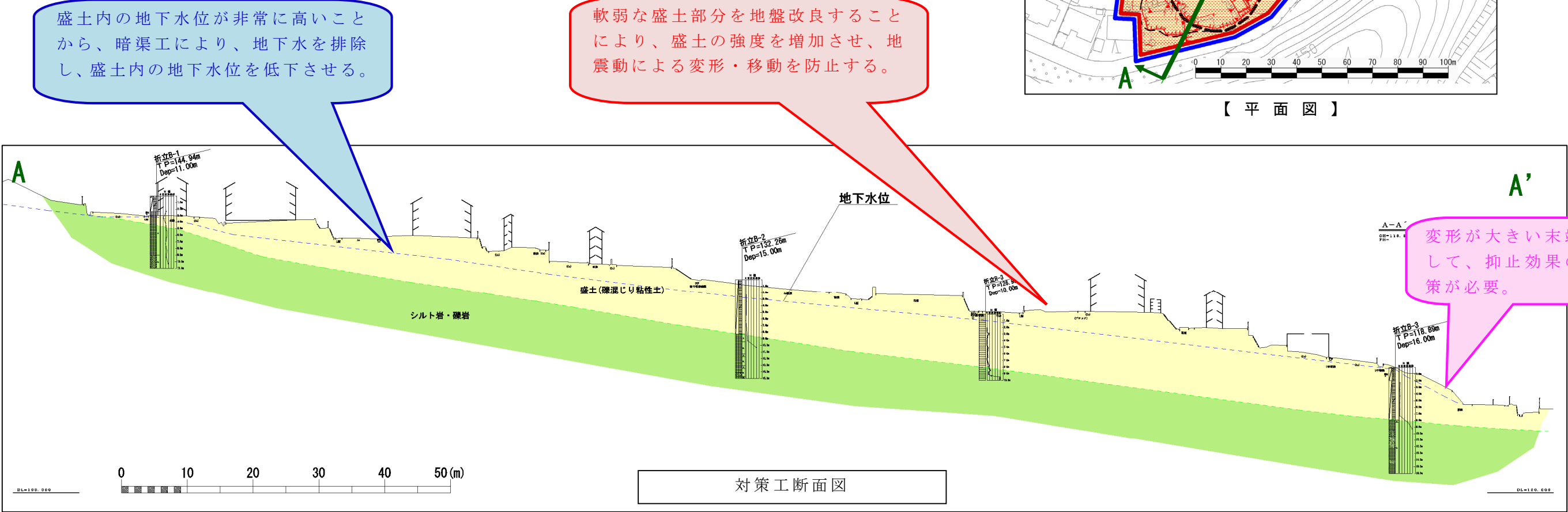
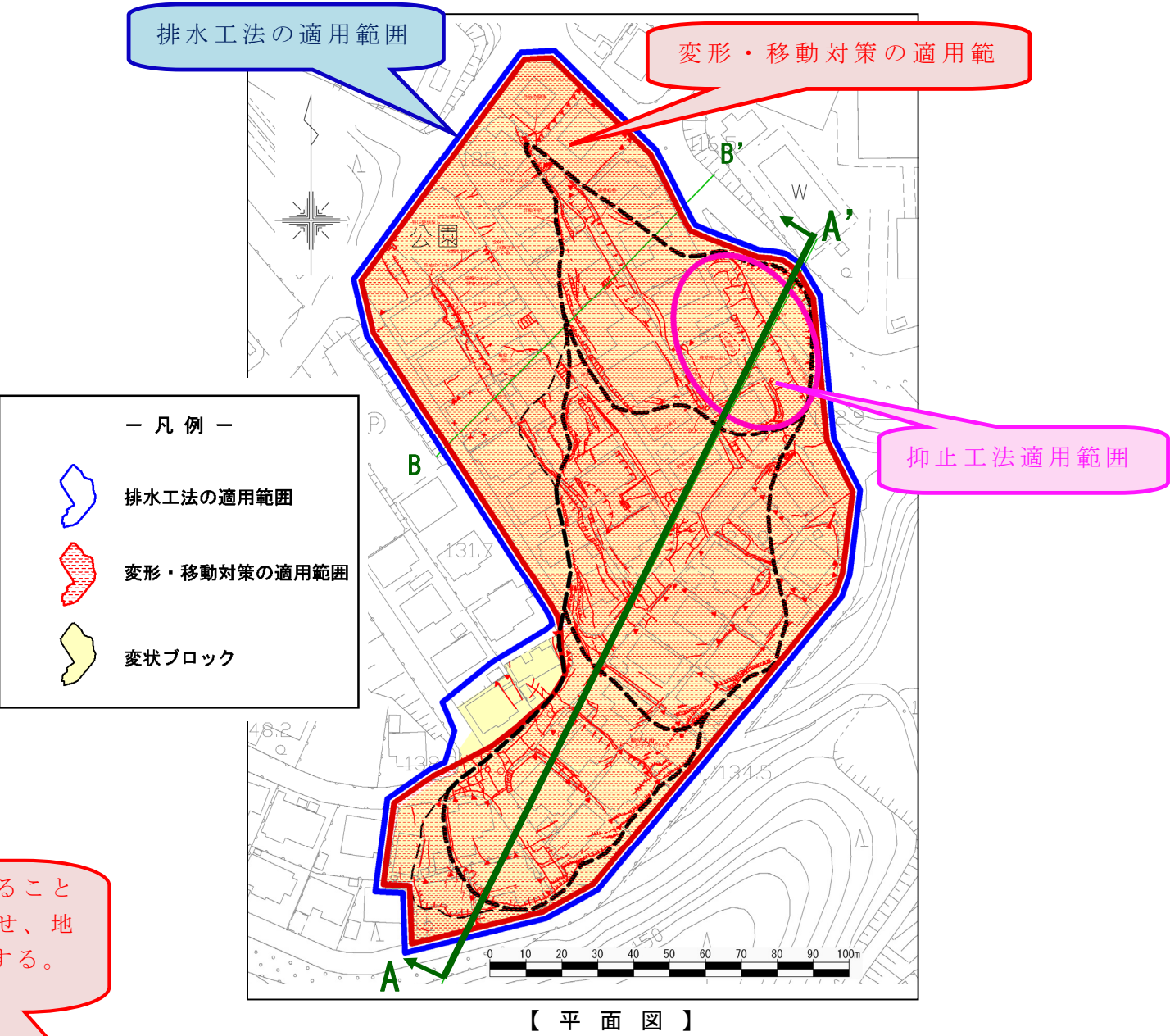
- ◆ 泥濘化した盛土内において、地震動の振幅が増幅され、擁壁・宅地を破壊した。
- ◆ 旧沢地形に沿って、変形が連続したために、一体化した破壊がみられる。



3-2. 対策方針 <変形・移動対策>

3つの大きなブロック状の動きがあることから、宅地を数個のブロックとしてとらえた対策工が適切と考えられる。具体的には、ひな壇上の宅地を現況に戻すのではなく、10戸程度を一枚盤にするような擁壁を設ける対策を施す中で、軟弱な盛土の圧密・締固め、浸透水の排水処理工を追加的に実施するのが適切である。また、小学校の保全のため、下端の擁壁は十分な配慮が必要である。

【説明】今回の変状が盛土の締固め不足や地下水の影響による長年の風化・粘土化に伴う劣化に素因を持ち、震動によって誘発されたブロックとしての移動を伴う比較的浅い部分の変状に起因するものとみなした。地震後から現在までの動態観測や表面波探査の結果から、盛土部が地山との境界部で地すべり状に移動していないと判断したものである。今後、降雨や余震によって変形が進行するようであれば、広範な深いすべり面からの変形の可能性を再考する必要がある。





3-3. 工法検討例 <変形・移動対策>

|         |    |   |
|---------|----|---|
| 変状メカニズム |    | 本地区は、旧谷地形を埋立て造成されたいわゆる谷埋め盛土部に位置する。旧地山切土部分と盛土の変状の差が著しいため、盛土地盤が震動を受けて変形し、地表部に段差・クラック・移動を生じたものと推定される。盛土部の移動は、その方向や移動量から、大きく 3 つのブロックに分けて変形している。移動はいずれも旧谷地形の下流方向に向かっており、最大 2m ほどである。このため、ひな壇上の宅地区画を隔てる擁壁や道路の変状も著しい。また、最末端の先には折立小学校が位置し、小学校の入り口の斜面盛土が一部はらみ出している。盛土中の地下水位は高く、降雨にも敏感に反応している。この盛土部分への浸透水の適切な排水処理が行われている様子はなく、盛土部の泥濘化が進行中であると推察される。以上から、盛土を構成する軟らかい礫混じり粘性土が震動によって鉛直方向及び水平方向に変形・移動した結果、地表の宅盤や擁壁に変状をもたらしたと推定される。 |
| 対策方針    |    | 3 つの大きなブロック状の動きがあることから、宅地を数個のブロックとしてとらえた対策工が適切と考えられる。具体的には、ひな壇上の宅地を現況に戻すのではなく、10 戸程度を一枚盤にするような擁壁を設ける対策を施す中で、軟弱な盛土の圧密・締固め、浸透水の排水処理工を追加的に実施するのが適切である。また、小学校の保全のため、下端の擁壁は十分な配慮が必要である。  |
| 工 法 案   |    | A 案   |
| 概 要     | 図  |   |
|         | 説明 | 軟弱な盛土部分（深度 4m）を地盤改良することにより、盛土の強度を増加させて、変形・移動を抑止する工法である。   |
| 対策工     |    | 宅地造成<br>暗渠工<br>道路復旧<br>擁壁復旧   |
| 評 価     |    | 軟質な盛土部分に地盤改良を行うことにより、その盛土材の強度を上昇させ、変形・移動に対する抵抗力を向上させる。さらに、暗渠工の効果によって、地下水位を低下させることができれば、安全性はさらに向上する。   |



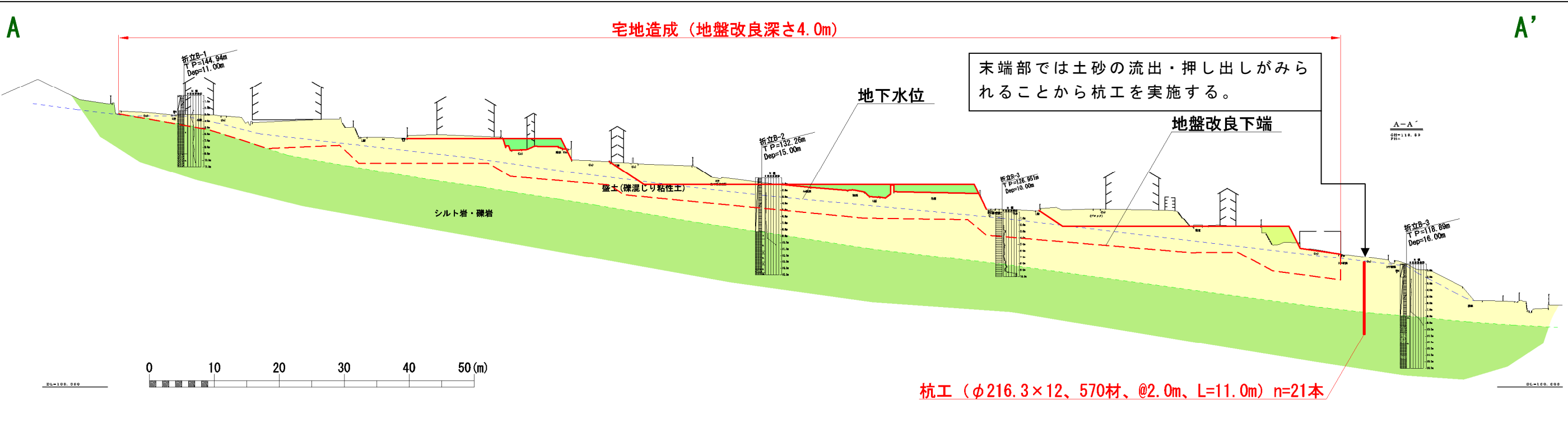
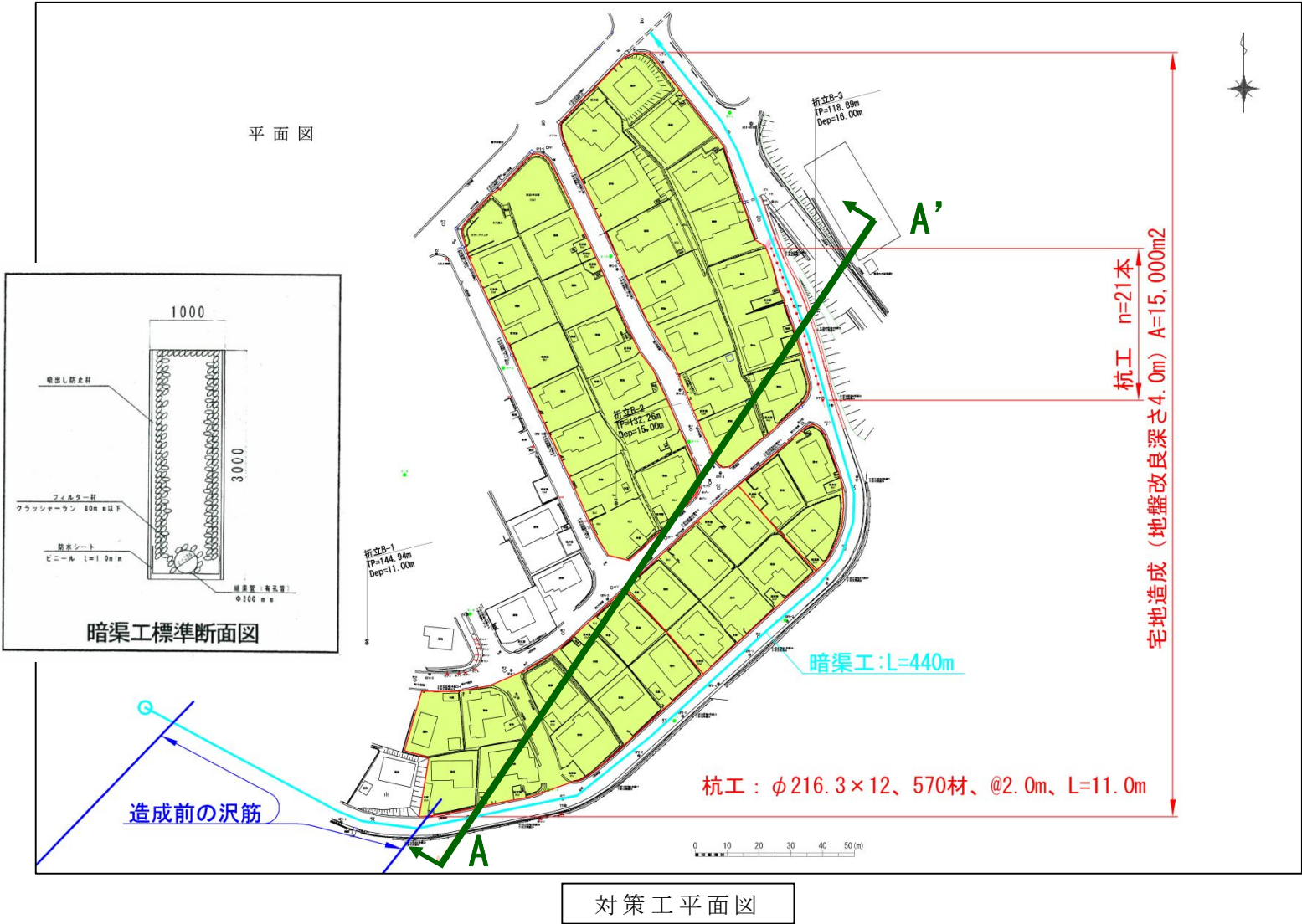
3-4. 対策工例 <変形・移動対策>

軟質で含水比の高い盛土部分（深度 4.0m）を地盤改良（浅層混合処理工法スラリー噴射方式）することにより、地盤の強度を上昇させ、安全性を向上させる対策である。

盛土内の地下水位が非常に高い位置にあることから、造成前の沢筋の地下水を排水する目的で暗渠工を計画する。

また、この地域は、地すべり危険区域地帯の末端部に位置し、カウンターウェイト部分となることから、切土を極力少なくする方針とする。

- <計画安全率>
- ・ 常 時 : P.Fs = 1.20
  - ・ 地震時 : P.Fs = 1.00



対策工断面図 (A-A' 断面)