

既設地盤構造物の計測挙動を考慮した調査・設計手法に関する技術開発

永瀬英生¹、田上裕²、濱本朋久³、その他⁴

¹九州工業大学、²基礎地盤コンサルタンツ、³パシフィックコンサルタンツ、⁴研究分科会委員

概要：盛土・基礎・抗土圧構造物等の地盤構造物に対し性能設計を行う場合、調査で得られた諸定数の精度と設計で要求されるその精度に乖離があることが問題となる。これを解決するためには、既設構造物の挙動と設計時に想定された挙動を照合し、地盤調査および設計手法を見直していくことが重要である。本研究は、上記の検討により新たな調査・設計手法の考え方を提言するものである。

1 はじめに

九州橋梁・構造工学会 (KABSE) では、種々の構造物の管理に携わる技術者と地盤調査および設計に携わる技術者が委員として参画し、「既設地盤構造物の維持管理における調査・設計手法に関する研究分科会」を発足した。本研究分科会では、構造物別に盛土、斜面および基礎の3つのワーキンググループに分かれて活動を行ってきた。本報告では、各種既設構造物の計測挙動に関する事例を通して、性能設計に向けた調査および設計時の課題を整理するとともに、地盤構造物を建設する際の新たな調査および設計手法について検討し、それらの考え方について提言している。なお、紙面の都合で事例等の詳細な紹介については割愛した。詳しくは、今秋に予定している講習会の報告書をご参照いただきたい。

2 盛土構造物の検討

盛土構造物の要求性能は、その用途・目的によって様々で、例えば道路盛土のようなものは、施工時の安定性および供用後の走行性を確保するため相対沈下量（不同沈下の有無）が問題となり、河川堤防では堤防高さを確保するために供用後の絶対沈下量が問題となる。本章では過

去に実施された既設盛土構造物の計測挙動から盛土の要求性能に着目した設計方法について整理する。

2.1 盛土構造物の現状と課題

(1) 調査から設計段階について

軟弱地盤上に建設される盛土構造物について、過去の試験工事や現場での計測事例を基に、沈下・安定・変形問題に対する地盤解析の方法や対策工法の考え方・その効果が議論されてきた。現在では対象となる盛土構造物毎の設計法が設計基準や設計要領として整備され運用されている。また電算ソフト等の発達により設計者は断面データと地盤調査報告書に記載された地盤定数を入力するだけで盛土構造物の安定・沈下計算・変形解析等を実施できる。表2.1は、盛土構造物の種類と要求性能を示したものである。しかし、実際の地盤は複雑で調査地点で得られた試験値を、対象盛土構造物の要求性能に合わせてどのように設定するか、または対象盛土構造物の要求性能にあわせてどのような解析手法を用いるかが重要となり、一元的に試験値の最低値を用いることや平均値を用いることは望ましくない。そこで、設計者は地域の地盤特性や地盤調査方法の特徴・精度を理解して設計試験

表 2.1 盛土構造物の種類と要求性能

種 類	道 路 盛 土	鉄 道 盛 土	宅 地 造 成 盛 土	河 川・海 岸 堤 防	調 整 池	ダ ム
主な役割	交通荷重の支持		建物、施設の支持	止水、水防	止水、水防、貯水	
要求性能	支持力、沈下量・不同沈下量、法面の安定			漏水がないこと、法面の安定、沈下がないこと		
法面勾配	1:1.5 ～ 1:2.0		1:1.8 ～ 1:2.0	1:2.0 ～ 1:3.0		1:2.5 ～ 1:4.0
土構造物としての要求性能	安定性、走行性(不同沈下)			高さ、止水性		
建設時の問題	安定性、沈下量・沈下時間、支持力			安定性、沈下量		
供用後の問題	長期沈下、地震時の安定性			長期沈下、浸透破壊、地震時の安定性		
災害時の目標性能	ライフラインの確保 緊急輸送路のみ	ライフラインの確保	安定性	安定性(決壊を防ぐ) 堤防高の確保	安定性	安定性
最低限の復旧に要する時間	1～2週間程度？	数ヶ月	1～2週間程度？	1～1.5年程度？	1～1.5年程度？	2年以上

施工を実施し、その計測結果を踏まえて再設計や本施工を行うことはより確実な方法である。

1) 調査結果の評価手法に関する具体例

①室内試験と現場強度の違い

室内試験の結果からせん断強度を設定し円弧すべり計算に用いる場合を例として、室内せん断試験の方法別の値の違いと実際の現場で盛土破壊される際のせん断強度について説明し、設計に用いる地盤定数の評価方法を考える。

②有明粘土のせん断強度設定方法の事例

有明粘土のせん断試験結果のバラツキに対して、過去の試験工事や破壊事例から得られた設計定数の設定方法に関する知見と現在の試験精度を踏まえた考え方について説明する。

2) 設計に必要な精度と調査手法の理解

精度の高い設計を行うには、精度の高い地盤調査が必要である。しかし一般的に地盤調査の精度と費用は比例するため、求められる精度の設計に対してどの程度まで費用をかけて、調査を行うかは、設計者と調査者の間でコミュニケーションを取りながら進めることが望ましい。しかし現状は、設計する前に先行して調査が行われるため、調査者が設計手法や必要となる調査精度をある程度理解して、盛土の要求性能に対して影響の大きい定数や地盤改良費用が大きくなる区間については調査精度を高めるための提案を行いながら進めることとなる。ここでは盛土構造物毎の設計法・要求性能と必要となる地盤調査の精度について整理する。

3) 地盤調査における技術開発の動向

地盤調査では、新しい調査法や試験法、特殊な地盤に対応可能な試験方法について紹介する。

(2) 設計から施工段階について

軟弱地盤上に建設される盛土構造物において、適切な対策工を実施してから盛土構造物を構築するはずが、設計条件や設計者の考えが設計図に表現しにくい場合、施工者がその対策工の目的と対策効果、また効果を発揮するための前提条件を十分に理解せず、対策工法の十分な効果が発揮できないことによるトラブルの事例が見受けられる。トラブルの解決策として、設計者は必要となる対策工法の目的・機能や前提条件、また対策による効果の程度を明確にするとともに、施工者は対策目的や効果の程度、前提条件を理解して施工を行う必要がある。

1) 設計者と施工者のコミュニケーション不足

深層混合処理工法とバーチカルドレーン工法により対策された道路盛土の事例において、設計者と施工者の理解の違いから生じたトラブル事例を挙げて、その改善策について検討した。図 2.1 と図 2.2 には、道路盛土でのトラブル事例を例示した断面図と平面図を示している。また、図 2.3 は、そのトラブル事例に対する補助工法を用いた対策事例¹⁾を示したものである。

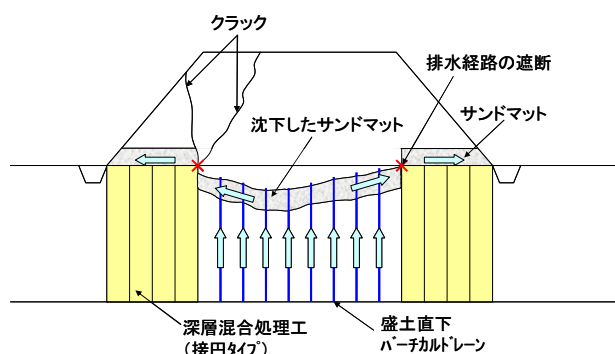


図 2.1 道路盛土でのトラブル事例（断面図）

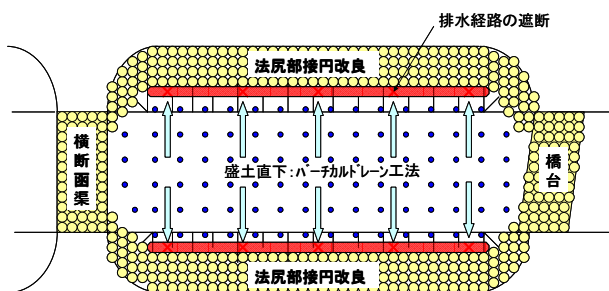


図 2.2 道路盛土でのトラブル事例（平面図）

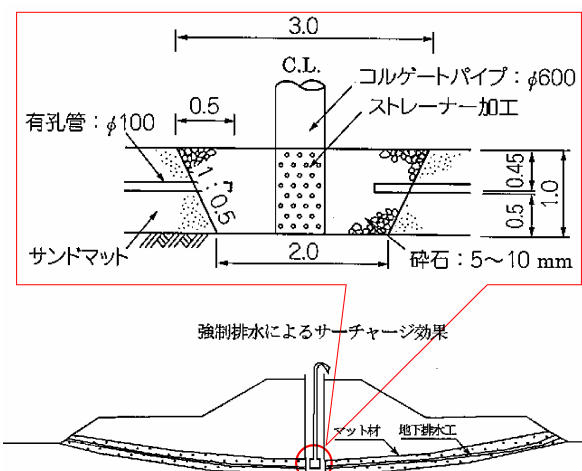


図 2.3 補助工法による対策事例¹⁾

2) 情報伝達方法に関する課題

設計思想や設計条件を発注者や施工者側へ伝達する方法、設計者が施工状況を確認して問題点の有無や設計条件との違いを確認する方法を提案する。

2.2 維持管理や防災リスクを考慮した設計

近年になって供用後の長期的な補修や地震・豪雨などに対する防災対策を含めた維持管理における調査・設計のあり方とその手法が求められている。

(1) 維持管理を考慮した要求性能と設計法

実際の維持管理費用から建設当時のLCC（ライフサイクルコスト）を最小化した事例について述べる。



写真 2.1 釧路沖地震の被害状況（無処理）



写真 2.2 北海道東方沖地震後の盛土状況（対策有）

①河川堤防の事例

被災後に強化復旧を行い対策効果が確認された事例として、釧路沖地震（1993.1）により液状化の被害を受けた河川堤防を写真 2.1 に示す。また、被災状況の模式図²⁾を図 2.4 に示す。対策工法に対する検討の結果、強化復旧工事として液状化対策を施したことで、その後に発生した 2 度目の地震（北海道東方沖地震 1994.10）に対して被害を免れた例（写真 2.2）を挙げて、災害対策の有無による効果と強化復旧の重要性について述べる。図 2.5 は、強化復旧対策工の断面図を示したものである。

②道路盛土の事例

軟弱地盤上に建設された道路盛土の圧密沈下に対して、道路供用後毎年のように実施されて

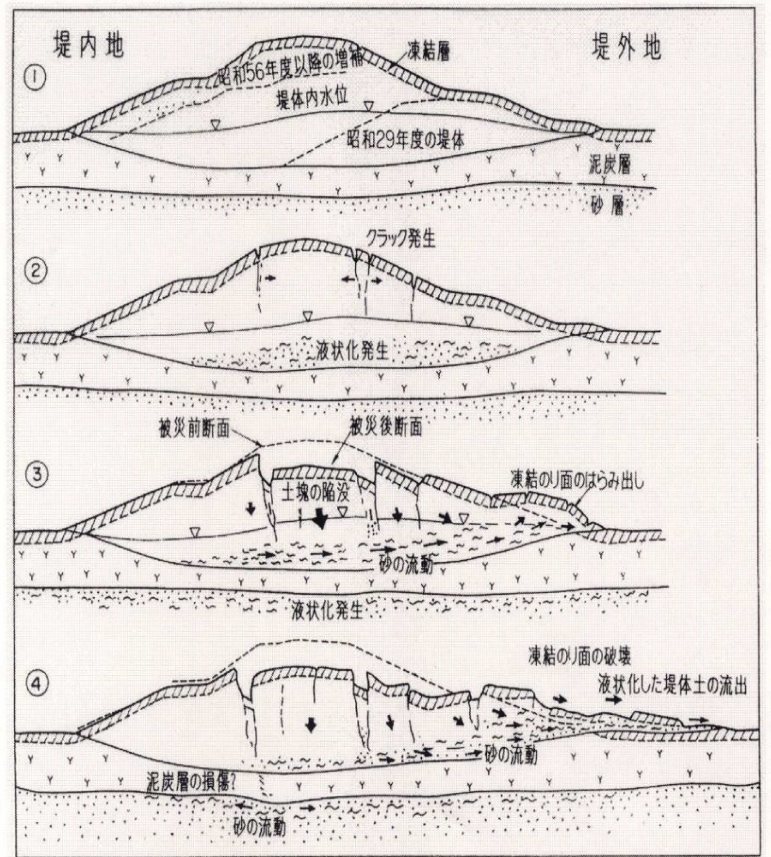


図 2.4 盛土の被災状況の模式図 2)

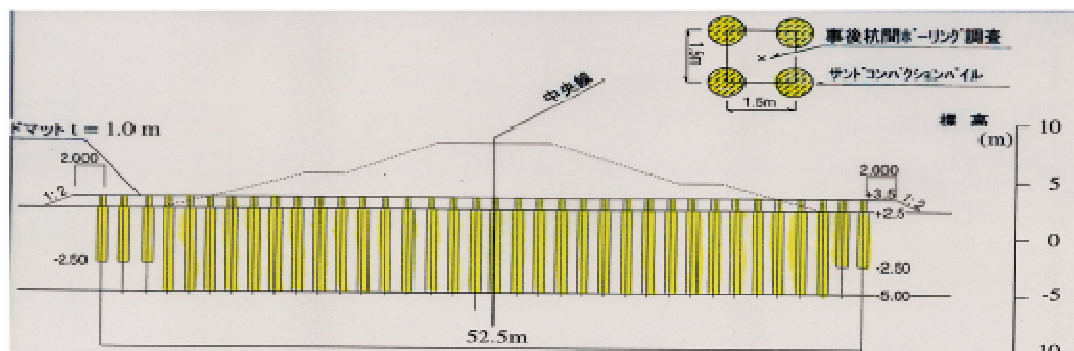


図 2.5 強化復旧対策工の断面図

いる補修工事（オーバーレイ）の費用と建設時に実施されていなかった圧密沈下対策費（初期投資費用）の比較例を挙げて、LCC を最小とするような設計法を紹介する。

2.3 盛土構造物の維持管理・防災対策

(1) 既設盛土構造物の維持管理方法

各種既設盛土構造物の維持管理の考え方と補修方法について説明する。

(2) 既設盛土構造物の防災対策

各種既設盛土構造物の被災リスクと防災対策の方法について、表 2.2 に復旧事例を挙げる。

表 2.2 災害（地震）対応での復旧事例

対象構造物	被害	期間	対応工法
河川堤防 (中越地震)	沈下 すべり	1 年 2 ヶ月	低振動 SCP※ ¹ 工法
河川堤防 (釧路沖地震)	沈下 すべり	約 1 年	SCP※ ¹ 工法
鉄道盛土 (中越地震)	沈下 すべり	数ヶ月	ジオテキスタイル、 補強土壁

※ 1：サンドコンパクションパイル

(2) 被災リスクを考慮した要求性能と設計法

① 災害予防の費用対効果

災害予防を行う上で重要となる費用対効果の考え方と盛土構造物別の災害予防の方法の違いについて記述する。

② 事業継続計画（BCP）の考え方

被災リスクを軽減する方法、事業継続計画の考え方の紹介と、既設盛土構造物に適用した場合の対策方法について述べる。

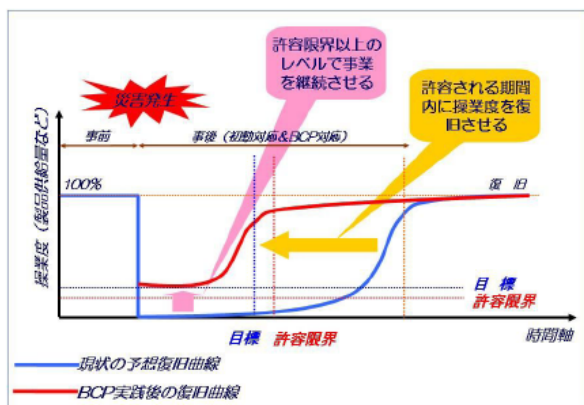


図 2.6 事業継続計画の説明図

(3) 防災対策のための技術開発の動向

盛土構造物の防災対策としての新技術・技術開発の動向について述べる。

3 斜面構造物の検討

斜面構造物として、現場打吹付法砕工やグラウンドアンカー工、鉄筋挿入工、モルタル吹付工等があるが、施工後 20 年から 30 年経過した構造物が老朽化し、グラウンドアンカーや鉄筋挿入工では定着力の低下や頭部の腐食の発生、現場打吹付法砕工やモルタル吹付工では、剥落や崩壊が発生してきている。そこで、本章では過去に実施された既設斜面構造物の調査手法から対策工の中でモルタル吹付法面について検討した。

3.1 老朽化した法面の現状と課題

斜面構造物のなかでも特に、モルタル吹付法面は、施工されてから 20 年から 30 年経過しており、構造物自体は健全でも、背面の地盤状態が変化し、写真 3.1 に示すように、空洞化や風化が進行し剥落や崩壊が発生させている。



写真 3.1 老朽化した法面の状況

このような斜面の調査は、一般的には調査ボーリングを行い、地盤の性状を確認し対策工を設計する流れになっているが、斜面の長さや延長が長い場合、点で行うボーリング調査では把握しきれない部分が生じる。また、対策工についても少ない調査（写真 2.1 の打音調査）で得



写真 3.2 打音調査（ウキ、剥離）

られた情報では過大設計になる可能性があるため、今後見直していく必要がある。今後の課題として、大きく2つを抽出した。

- ①調査手法の確立
- ②経済的な対策工の選定

3.2 老朽法面の調査・設計のあり方

(1) 調査について

調査は、調査ボーリングが主体であるが、表 3.1 に人力による調査手法、表 3.2 に機器を用いた調査手法についてまとめている。今後斜面全体を把握し、効率良く対策工を行うため、全体の把握を目的とした熱赤外線調査や弾性波探

表 3.1 人力による調査手法

調査手法	概 要
遠望視点検	のり面全体を把握するため、双眼鏡等で観察。
近接目視点検	のり面の表面を確認するため写真撮影やスケッチを行う。
打音調査	モルタル吹付と背面地山との密着具合や空洞の有無を確認する。
コンクリートハンマーテスト	モルタル吹付の強度を確認する。
コア抜き調査	モルタル吹付をコア抜きし、吹き付けの厚み、空洞厚、地山の風化状態を確認する。

表 3.2 機器を用いた調査手法

調査手法	概 要
熱赤外線映像調査	モルタル吹付背面の空洞箇所を把握するため、早朝と午後の2回の撮影により温度変化を分析する。
光ファイバ計測	光ファイバにより2点間の変位を計測する。
弾性波探査	背面地山の風化状態を確認する。
地中レーダ探査	背面の空洞を確認する。

表 3.3 補修対策の課題

分類	はぎ取る場合	はぎ取らない場合
利点	- 不安定なモルタル吹付や背面土砂を撤去できる。 - 対策工の選定が切り土対策と同様にできる。	- 産業廃棄物が発生しない。 - 土砂化した背面地山が崩壊しない（安全である）。 - 用地の問題がなく、迅速に対策できる。
欠点	- 防護柵が必要であり、地域交通に負荷がかかる。 - はぎ取ったモルタルは産業廃棄物となる。 - はぎ取り時に安全性が低い。	背面の空洞に対する対策は検討を要する。

可視画像



熱赤外画像

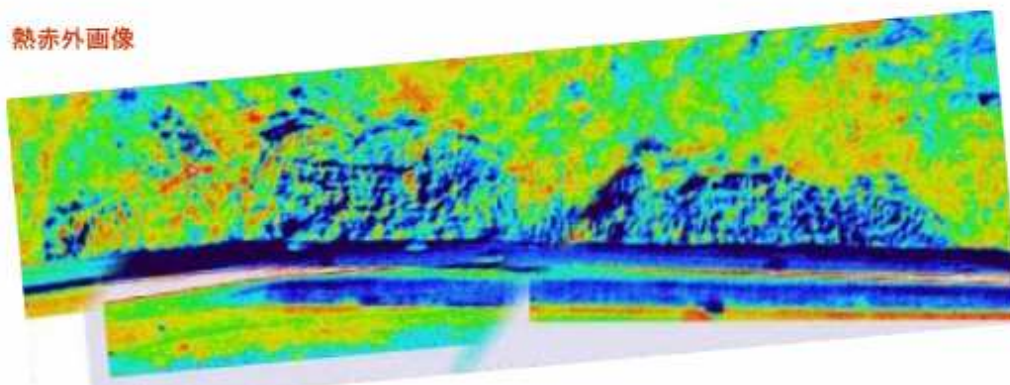


写真 3.3 熱赤外線映像調査結果

査等がある。この調査に加え、詳細にモルタル吹付背面の状態を確認するための打音調査や吹付の厚み、空洞厚、地山の風化状態を把握するためのコア抜き調査を実施することが望ましい。

(2) 老朽化モルタル法面の設計

設計については、詳細な調査を行った結果に基づき行うものとする。主として、モルタル吹付工の対策は「はぎ取りによる対策」と「はぎ取らない対策」に分けられる。表 3.3 に補修対策の課題を示す。

はぎ取らない対策は、仮設防護柵の設置が必要なく、産業廃棄物も発生しないため、環境にやさしい対策となる。一方、はぎ取りによる対策は、斜面の箇所にもよるが、道路に近接した場所であれば仮設防護柵の設置が必要となり、はぎ取ったモルタルは産業廃棄物として処理が必要となる。

具体的には、両対策にしても、空洞のありなしや地盤の風化具合、モルタル吹付自体の劣化を勘案し、効果的な対策工を選定することが必要である。地盤自体が厚く風化している場合は、鉄筋挿入工との併用もあり得る。

(3) 老朽化モルタル法面の対策

ここでは、はぎ取らない対策工として、以下のようなものが挙げられる。

- ①既設モルタル吹付法面への増し吹き
- ②モルタル吹付背面への空洞充填
- ③モルタル吹付背面の地盤の改良
- ④モルタル吹付面の環境を配慮した緑化工

3.3 現在の維持管理対策

現在の維持管理として、定期巡回によりモルタル吹付法面の変状や変色が認められるかを確認する。変状が認められれば目視調査を詳細に行い、ひび割れや剥離、漏水の状態を確認する。ひび割れや剥離、漏水が認められる場合は、調査の方法に記述した手法を用いて詳細調査を行うものとする。

3.4 今後増加する斜面对策技術

老朽化したモルタル吹付法面は、今後さらに崩壊の危険性が高くなるため、効率的に対策工を施していく必要がある。最近では、モルタルをはぎ取らずに施工する対策工が多く出てきており、今後増加することが考えられる。具体的な方法を、以下に整理する。

① 既設モルタル法面上への増し吹き

図 3.1 に示すように、既設の老朽化したモルタル法面上へ鉄筋や固定金具を設置し、モルタルを増し吹きすることにより、現在崩壊しつつあるモルタル法面自体の変位や変形を抑制する対策工である。

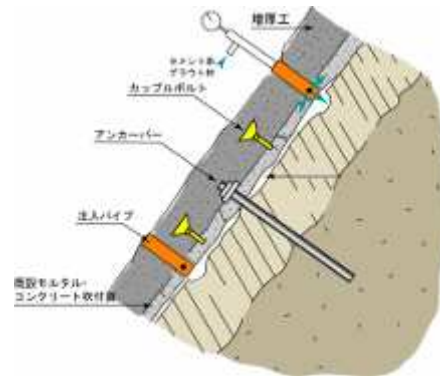


図 3.1 増し吹き対策

②既設モルタル背面への空洞充填

既設の老朽化したモルタル法面の背面に空洞がある場合は、図 3.2 に示すように、特殊なアンカーを増し吹きした部分から地盤に有孔管を打設し、その特殊なアンカーからセメントミルク等を注入することにより、モルタル法面の背面に確認された空洞箇所を充填する。これは、既設の老朽化したモルタル法面と背面地盤とを密着させることにもなり、モルタル法面が安定する。

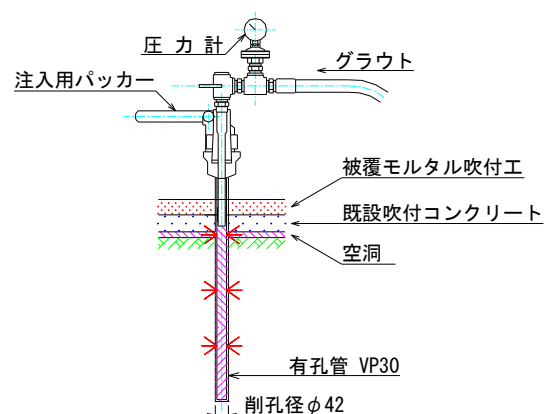


図 3.2 空洞充填対策

③既設モルタル背面地盤の改良

既設の老朽化したモルタル法面の背面地盤が風化により土砂化している場合は、いくら空洞充填しても背面地盤の土砂がすべり崩壊を起こすことが予想される。このような崩壊を防止するために、風化していない地盤内に対して、図 3.3 に示すような特殊なアンカーを補強材とし

て設置しておくことで、モルタル法面の地盤改良を行うことができる。

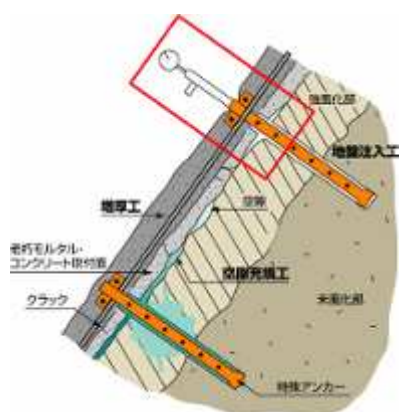


図 3.3 特殊アンカーの対策

④既設モルタル法面の緑化

既設の老朽化したモルタル法面は、景観性が劣っており、環境面でも太陽の照り返しが非常に多い。そのような既設のモルタル法面を鉄筋で補強し、かつ緑化できる方法として長繊維補強土工法等がある。これは、図 3.4 に示すように、モルタルを吹き付けした上に長繊維を混ぜた砂質土の補強土を造成し、斜面の安定および緑化を実現できる方法である。一般的には、切り土法面に使用しているが、今後は既設モルタル法面の上にも活用できるものと期待している。

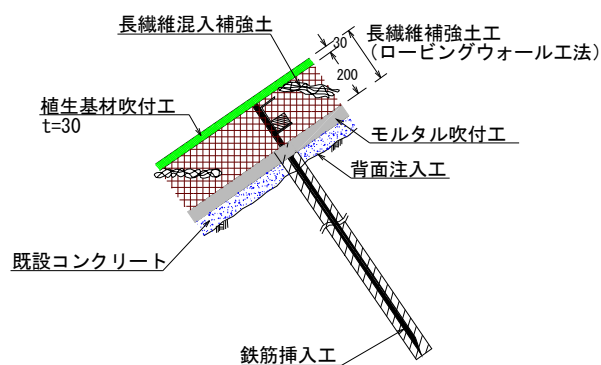


図 3.4 法面緑化の対策

4 基礎構造物の検討

基礎構造物は、構造物の竣工後の点検や補修といった維持管理が困難な構造物である。したがって、安全率を考慮した設計を行い、供用期間中に重度な損傷を出さないようにしてきた。しかし、設計にあたって、地盤の評価を誤ると、供用時に基礎の損傷を起こす恐れがある。写真 4.1 は、基礎杭の損傷状況の例を示したものである。

本章では、基礎構造物の維持管理を考慮した対策事例より、適切な調査や設計方法について検討した。



写真 4.1 基礎杭の損傷状況 ③

4.1 基礎構造物の現状と課題

(1) 基礎構造物の現状

基礎構造物は地中深くに存在し、通常、目視することができないため、基礎構造物の維持管理はほとんど行われていない。したがって、基礎構造物に求められる要求性能は、構造物の供用期間中に、構造物の健全性を保持できるように支持力や変位などの安定性の確保や、道路・鉄道橋などの基礎は、発生頻度の低い大規模地震に対して、損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能が早期に回復できるように、維持管理を必要としないことを求められていると考えられる。また、河川内の基礎構造物の場合は、上記の性能以外に、洗掘に対する安全性を確保する必要がある。写真 4.2 は、洗掘による橋脚の沈下の例を示したものである。

なお、長大橋のような大型構造物基礎や構造物の劣化が早いと考えられるもの（塩害の影響を受けやすい海上構造物や科学的浸食を受けるような土壌の作られる構造物）については、調査・設計時に、定期的なモニタリングの提案や、維持管理要領を作成し、維持管理を行う場合もある。



写真 4.2 洗掘による橋脚の沈下

(2) 基礎構造物の課題

前項にも示したように、基礎構造物は維持管理や損傷時の修復が困難であることから、要求性能が高く、かつ、設計の安全率も盛土構造物などに比べると大きくなっている。したがって、設計に用いる地盤定数の値により、基礎形状が大きく変化する可能性があり、計画した基礎形状が建設位置の地盤条件に対して、実は過大（または過小）だったということになりかねない。このような状況に陥らないためにも、設計を考慮した上の調査箇所や調査方法の提案や、調査結果を設計に反映させるための定数の適切な設定が必要となってくる。

4.2 設計に必要な地盤調査

基礎構造物の設計を行うにあたって、必要な地盤定数や定数を求める方法は、表 4.1 に示すように、地盤により様々な方法があり、適切な調査方法を選ぶことにより、より精度の高い地盤定数を得ることが可能である。しかしながら、一般的な構造物の設計においては、試験の簡便さや定数の設定しやすさなどから、標準貫入試験（N 値）結果からの推定によってこれらの定数を設定していることが現状である。

表 4.1 設計に必要な主な試験一覧

分 類	名 称	直接得られる値	推定される定数
室内試験	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u	$c_u (\phi=0)$
		変形係数 (E50)	
	三軸圧縮試験	c_u, ϕ_u (UU 条件)	
		c', ϕ' (CU 条件)	
		c_d, ϕ_d (CD 条件)	
	一面せん断試験	せん断面上の τ_f, σ_v	せん断面上の摩擦角 ϕ_{ds}
	圧密試験	$e-\log p, mv, C_c, cv, Pc$	
	粒度試験	土の分類、液状化の判定、 $D_{10}, D_{30}, D_{50}, D_{60}, U_C, U'_C$	
	液性・塑性限界試験	液性限界 W_L 、塑性限界 W_P 、塑性指数 I_p	
	土の湿潤密度試験	土の湿潤密度 ρ_t	
原位置試験	透水試験	透水係数 k	
	繰返し非排水三軸試験	繰返し三軸強度比 R_L 、過剰間隙水圧比 $(\Delta u / \sigma'_0)$	
	標準貫入試験	N 値	一軸圧縮強さ q_u 、変形係数 E, ϕ
	孔内水平載荷試験	水平方向地盤反力係数 K_H	変形係数 E_q
	平板載荷試験	P_u 、地盤反力係数 K_v	c, ϕ 、変形係数 E_s
	孔内せん断・摩擦試験	c, ϕ 、杭の周面摩擦力 f	

4.3 維持管理を考慮した対策事例

(1) 海上連絡橋における地盤調査と設計の取り組み

本連絡橋を計画するにあたっては、さまざまな地盤調査および試験を行って、地盤定数や支持力算定式の設定を実施している。

この橋梁の計画を行う上で、図 4.1 のフローに示すように、発注者・調査者・設計者の 3 者

が、どのようにして調査内容を決定してから、必要な調査を行い、調査結果をいかにして設計に反映させたかを整理する。

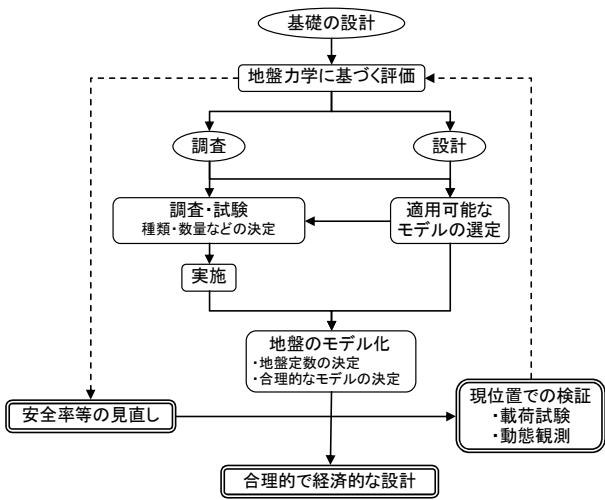


図 4.1 基礎の設計フロー

(2) 圧密沈下する地層における杭基礎の計画

杭基礎の圧密沈下を事例とし、想定外の沈下に対して、沈下後に対処を行った場合と、調査時に詳細な調査によって、沈下する地盤の特性を把握し対処した場合とのコスト比較を行い、本事例における必要な調査項目や詳細調査を行う有効性を検討した。

5 維持管理における調査・設計手法の提言

本研究では、3 つの地盤構造物を対象に、維持管理における調査・設計手法について、検討を行った。以下に、対象とした 3 つの地盤構造物について、維持管理を考慮した調査・設計手法の提言をまとめる。

(1) 盛土構造物における調査・設計の提言

維持管理や防災リスクを考慮した盛土構造物の設計を実施する場合、一般的に盛土は切土と異なり建設時が最も不安定でその後は時間の経過と共に安定へ向かう性質があるため、過去においては建設時の諸問題に対して安定的な土構造物を構築するための調査・設計方法が確立されてきた。つまりは盛土建設時に掛かるコストを最小限とし、最低限の地盤対策で盛土が建設されることがほとんどであった。今後は、維持管理や防災リスクを考慮した設計手法の確立、災害予防の費用対効果などに取り組む必要がある。

(2) 斜面構造物における調査・設計の提言

崩壊した現場は、対策工を緊急で行うことが多いが、実際必要なのは、いかに事前に崩壊の兆候を把握し、過大な対策工を行わずに、リニューアルするかがポイントとなる。崩壊前に対策を行えば、今後 10 年以上、斜面が維持できるものと推測される。現在の老朽化対策は、施工して間もないため、どの程度維持できるかは不明だが、今後追跡調査を行うことにより、効率的に崩壊の予防処置がとられていくものと考ええる。

(3) 基礎構造物における調査・設計の提言

基礎構造物の維持管理は、構造物の工事が竣工して以降は地中構造物となり、容易に損傷や劣化の状況が確認できない地盤構造物である。また、設計を実施するにあたり、調査により得られる地盤定数に大きく影響を受ける構造物でもある。そのため、過去における建設時の諸問題に対して安定的で、より安全な基礎構造物を構築するための調査・設計方法が確立されてきた。したがって、必要最低限の地盤調査しか実施されず、かつ、その調査結果をもとに、より安全側の設計を行うことがほとんどであった。今後は、基礎構造物周辺の地盤を適切に評価できる調査を確実に実施し、その結果を安全かつ合理的な設計に反映させる必要がある。

6 まとめ

近年になって、供用後の長期的な構造物補修や想定外の大規模地震、局所的な集中豪雨（ゲリラ豪雨）などに対する防災対策を含めて、維持管理という時間軸が極めて重要になってきている。

想定外の災害に対して、応急復旧対策を実施する場合、設計当事の機能水準まで対策を目標にする原形復旧対策が多く実施されている事例が多いが、原形復旧対策であるが故に、何度も被災を受けている事例も見受けられるため、今後は強化復旧対策が必要であることについても言及している。

以上のことを勘案し、本研究の成果が、少しでも社会基盤整備に役立つように、さらなる検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 日本道路公団：設計要領第一集 土工・舗装・排水・造園、2010.7
- 2) 北海道開発局釧路開発建設部：平成 5 年（1993 年）釧路沖地震堤防災害復旧工事誌、1994.3
- 3) 建設省土木研究所：平成 7 年兵庫県南部地震災害調査報告、土木研究所報告、第 196 号、1996