

特集

土構造物，基礎構造物の維持管理

Maintenance of Earth Structures and
Foundation Structures

●編集委員長：兵動正幸 副委員長：高橋真一

●本号特集担当編集委員：林田洋一・森野達也（主査）

磯部公一	大野雅幸	柴田匡善	鈴木健
山中稔	丸山修	川村志麻	関口徹
長田実也	角礼雄		

●講座委員（23年4～9月号担当）：張 鋒・布川 修（リーダー）

磯部公一	笠間清伸	鍋島康之	藤原協
古川和弘	三浦俊彦	森野達也	

本号の編集にあたって

我が国の社会資本は、その多くが高度経済成長期に整備され、建設後50年程度を経過していることから、施設の経年劣化が顕在化しつつあります。これらの構造物について適切な維持管理や補修等を行うことで、既存の社会資本を長期間にわたり有効活用することが今後ますます求められることになると思いますが、現在、公共事業を取り巻く社会的情勢は厳しく、構造物の維持管理を行っていく上では困難であるといえます。そのような中、近年では、構造物の維持管理や補修、更新を合理的に実施する方策として、アセットマネジメントの概念が導入され、維持管理に向けた新しい取り組みが始まっています。

しかしながら、土構造物や地盤中の基礎構造物については、材料としての経年劣化が評価しにくいこと、劣化の進行を確認することが困難であること等から、アセットマネジメントの概念を導入することが難しく、かつ導入するためには、性能評価項目の設定や構造物のライフサイクルコストを考慮した将来予測のモデル化、構造物の計測手法の確立、性能低下時の対応策について等、解決すべき課題が多いのが現状です。また、これらの構造物へアセットマネジメントの導入を推進するためには、工学的知識に加えて、多様な知識や手法を身につけることが重要になってきます。

そこで本号ではこのような背景をふまえて、「土構造物，基礎構造物の維持管理」と題して特集テーマを企画しました。河川や鉄道の事業等で建設された土構造物，基礎構造物の現状や課題点、アセットマネジメント導入に向けての計画作成やモデル化手法の考え方、調査手法といった最新の取り組みを紹介しています。本特集号に掲載されている土構造物および基礎構造物の維持管理の取り組みや今後の展望が、会員の皆様にとって有益な情報としてお役に立てていただければ幸いです。

森野達也（もりの たつや）

地盤工学会のホームページ URL <http://www.jiban.or.jp/>

国際地盤工学会ホームページ <http://www.issmge.org/>

土構造物の耐震性診断と対策

7. 耐震性診断と対策に関わる新技術

篠田 昌弘 (しのだ まさひろ)

(公財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 基礎・土構造 主任研究員

7.1 はじめに

世界有数の地震国である日本は昔から地震による被害を多く受けてきた。最近では、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震が挙げられる。土木学会や地盤工学会では、調査団を結成し被害調査を実施しており、多くの公共インフラに多大なる被害が発生したことが明らかとなった。また、平成7年1月17日には兵庫県南部地震が発生し、この地震でも公共インフラに甚大な被害が発生した(図-7.1, 図-7.2)。

兵庫県南部地震後、土木学会では、土木構造物の耐震基準に関する検討を実施した。検討結果は、「土木構造物の耐震基準等に関する提言」にまとめられ、第三次提言まで公表されている¹⁾。

土木構造物の耐震性診断と対策については、上記の提言の中で述べられている。耐震性診断について要約すると下記のとおりである。

- ① 既存土木構造物の耐震診断は、概略的な方法による一次診断と、より詳細な方法による二次診断によって行う。
- ② 一次診断では、構造物の重要度に影響を与える諸要因に加えて、構造物が構成するシステム機能の代替性、建設時からの条件の変化等を考慮する。
- ③ 二次診断では、一次診断による耐震性能の詳細検討が必要と判断された構造物を対象とし、レベルⅠ地震動およびレベルⅡ地震動に対して所要の耐震性能を有しているか否かを診断し、補強を必要とする構造物を抽出する。
- ④ 既設構造物の耐震診断に当たっては、新設構造物の耐震設計で必要とされる調査項目に加え、使用条件の変化、増改築、周辺環境の変化、変状と劣化などの影響を考慮する必要がある。

また、対策について要約すると下記のとおりである。

- ① 土木構造物の耐震補強では、施工時間や施工スペース、周辺環境などに配慮した耐震補強技術を開発することが急務である。
- ② 地盤を含めた構造物全体系の塑性領域の動的挙動と終局強度を精度良く評価する手法が不可欠である。このためには、実大規模の実験的研究の推進が必要である。
- ③ 地震時における構造物の安全性および性能の向上を図るため、新構造形式や新材料の開発を進め、実

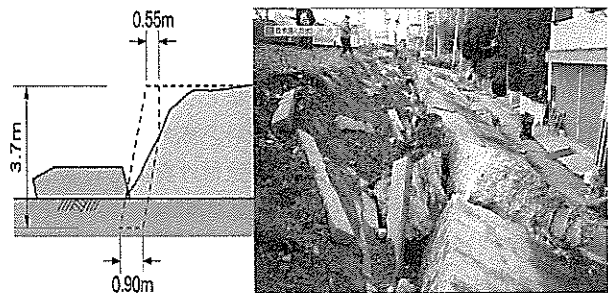


図-7.1 兵庫県南部地震で崩壊したもたれ壁



図-7.2 兵庫県南部地震で崩壊したL型擁壁

構造物への積極的な適用を図るべきである。

本稿では、土木構造物の耐震性診断と対策に関わる既存の技術とその課題について述べるとともに、近年開発された新技術について述べる。

7.2 耐震性診断に関わる新技術

7.2.1 はじめに

既設土木構造物の耐震性診断では、構造物や周辺地盤の特性に関する現地調査のほか、耐震設計や地震動の設定が重要となる。現地調査では、非破壊試験に基づいた構造物の耐震性診断と併せて周辺地盤の応答特性を把握するための調査が必要となる。土木構造物の耐震性診断では、河川、港湾、道路、鉄道、電力等で一般化された手法は存在しておらず、構造物ごとに現地計測を実施している。周辺地盤の応答特性の把握には、各種物理探査やサウンディング等を行うことによって評価可能である。ここでは、従来から用いられている具体的な現地調査法とその課題について述べる。なお、各種構造物の耐震設計と地震動の設定については、3章、4章、5章を参照

手法に、計測値を用いた耐震診断が行えるような診断技術を導入することで、モニタリングにより経時的な耐震診断が可能となる。

モニタリングによる耐震診断における現状と課題としては、下記が挙げられる。

(1) 計測器の仕様

7.2.3でも述べたように、計測目的にあった計測器の選定を行う必要がある。計測機器の選定にあたっては、計測器の感度、計測範囲、防水性、使用温度、サイズ、質量、価格等に配慮する必要がある。さらに、長期的なモニタリングを実施する場合には、計測機器の耐久性や保守の簡便性などにも十分に配慮する必要がある。

(2) データ伝送方法

一般的なモニタリング手法では、計測したデータはデータロガーに取り込まれ、これからデータを取り出してデータ分析を行う。上記手法は、ある特定の構造物に対しては、適用可能であり多数の実績を有するが、複数の構造物を同時に計測する場合や計測点が離れている場合には、計測器やデータ収集にコストがかかり、上記システムでは適用が難しいことから、安価なモニタリング手法の開発が求められている。

上記課題における対策として、最近では無線による構造ヘルスマニタリングの開発が行われている。無線による計測器は、前述した感度、計測範囲、防水性、使用温度、サイズ、質量、価格等の他に消費電力が重要な項目となる。無線のため、基本的には電源供給も内部で行う必要があり、乾電池や太陽電池+蓄電池などの適用が試みられている。ここでの問題点は、上記電源は永久ではなく、いずれ交換する必要があることである。その際には、保守費用が発生するため、電池取り替えが容易な箇所に設置するなど、計測器の保守に充分配慮する必要がある。また、近年では、無線によりデータ伝送が行えるようになり、その仕様も様々である。データ伝送方式は無線アドホック網 (Zigbee 無線)、特定小電力無線、携帯電話網等である。これらの無線データ伝送と上記の無線による計測器を組み合わせることで、複数の構造物や離れた構造物であっても同時に計測することが可能となる。鉄道総合技術研究所 (以下、鉄道総研と記す) では、無線による鉄道土木構造物のモニタリング手法について研究を行っている (口絵写真一3)。開発しているシステムは、無線による計測器を用いて、用途に応じた適切な伝送方式 (手動、無線アドホック網、特定小電力無線、携帯電話網、列車による収集) の選択ができ、異常時の自動迂回を可能とするデータ伝送装置を採用している¹⁰⁾。このようなシステムは、汎用性が高いため、多少の変更を行うことで、河川、港湾、道路、電力等においても適用可能と考えられる。

7.3 耐震対策に関わる新技術

7.3.1 既存技術と課題

土木構造物の耐震補強は、地震時に部分的な損傷を受けても急激な全体崩壊や地震後の二次災害を回避するな

ど、崩壊モードを脆性的な崩壊から靱性的な崩壊に相対的に望ましい破壊形態に導くような補強方法を開発する必要がある。合理的な耐震補強は、既存構造物の現況、残存強度、老朽度の把握がベースとなる。このため、耐震補強技術の開発と併せて、前述したような耐震診断技術の開発も重要となる。さらに、施工時間や施工スペース、周辺環境などに配慮した耐震補強技術の開発が重要である。耐震対策の既存技術に関する詳細は、3章、4章、5章を参照されたい。

耐震対策に関する課題として、耐震性の低い既設土木構造物が多いことが挙げられる。鉄道総研では、鉄道事業者にアンケートを実施し、12 636箇所の土留めに関する基本データ (構造形式、延長距離、壁高等) を収集した。図-7.12に鉄道土留めの構造形式ごとの箇所数の割合を示す。図-7.12から、耐震性の高いRC擁壁は、全体の2割程度である一方で、耐震性の低い石積壁の割合が半数あることが分かる。図-7.13に鉄道土留めの延長距離と箇所数の関係を示す。最も箇所数が多い延長距離は20 m未満であるが、延長距離が100 m以上の土留めも箇所数としては多いことが分かる。延長距離が長い土留めの耐震対策を実施する場合には、工期を長期間確保する必要が生じ、それに伴い工費も増加することを意味する。延長距離の長いすべての土留めに対して、高い耐震性能を要求することは、現実的ではないことから、一定の要求性能を満たした耐震対策を検討する必要がある。

7.3.2 新技術

土木構造物の耐震対策を実施する場合には、補強と改良に大きく分類できる¹¹⁾。改良は、土の不安定な状態を

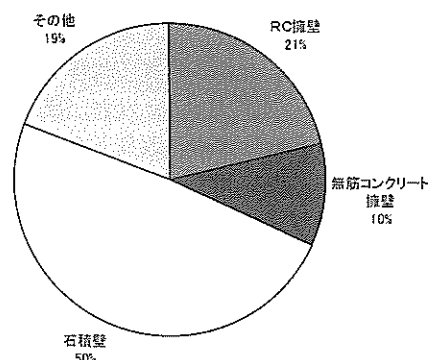


図-7.12 鉄道土留めの構造形式ごとの箇所数の割合

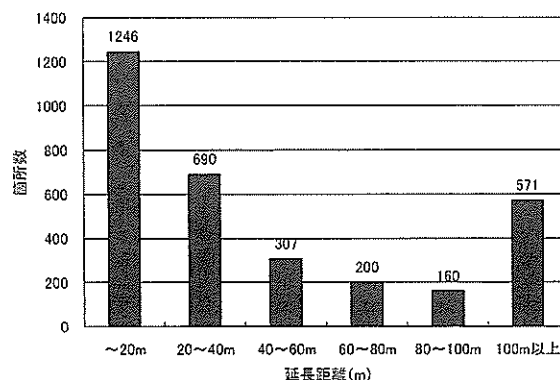


図-7.13 鉄道土留めの延長距離と箇所数の関係

安定化させる方法であり、a) 土を他の材料に置き換える、b) 土を密な状態に変化させる、c) 土と他の材料を混合するという3パターンに分けられる。a) は不適土を良質土や発泡スチロールブロックなどの軽量の人工材料に置き換える方法である。b) は、脱水による方法と締固めによる方法がある。c) には攪拌、噴射、プラント混合、薬液注入などの方法がある。補強は、他の材料を敷設あるいは挿入することにより、土自身の性質は変えずにその強さを引き出す方法である。ここでは、固化処理を用いた補強技術に着目し、最近開発された工法について紹介する。

(1) 補強材と壁面材の結合部に改良土を用いる工法

盛土材にセメント混合や短繊維混合による安定固化処理を施し、擁壁・盛土の変形特性や耐震性を改善する工法である。擁壁の耐震対策工法を例に挙げると、補強材と壁面材の結合部に改良土を用いる補強土壁やセメント改良補強土橋台がある。

前者の補強材と壁面材の結合部に改良土を用いる補強土壁は、盛土の壁面近傍に改良土を用いることとし、改良土の強度特性試験や現場での混合実験、改良土とジオグリッドの引抜き実験、模型載荷実験や模型振動台実験、現場施工実験などを行い、実施工例も増加している(図-7.14と図-7.15)。この工法の主な特徴は、①壁面パネルとジオグリッドは連結せず、ジオグリッドは改良土中に定着させる、②壁面パネルは補助アンカーで改良土と一体化させる、③改良土を用いることで、ジオグリッドの使用量が減る、④壁面近傍を改良土とするため、壁面部分の安定性に優れる等である。

この工法の設計は、基本的に文献12),13)によるが、改良土の部分については別途設計を行う必要がある。改良土の幅は、補強土壁の壁高に対する比率として、盛土材の内部摩擦角に応じて決定する。なお、施工性から、改良土の最低幅を1.5mとする。改良土の強度は、円弧すべり安全率が1.0となるように設定し、かつ、改良土内部でせん断破壊が生じないようにする。

(2) アプローチブロックに改良土を用いる工法

アプローチブロックにセメント改良土を用いる工法は、橋台に対して適用され、セメント改良補強土橋台と呼ばれる(図-7.16と図-7.17)。セメント改良補強土橋台は、鉄道橋の橋台の背面盛土にジオグリッドで補強されたセメント改良粒度調整碎石を用いて、高い耐震性を得るとともに、鉄筋コンクリート橋台躯体を大幅に合理化するものである¹⁴⁾。この工法の主な特徴は、①アプローチブロック部がセメント改良されているために十分な剛性を持ち、橋台に対する不同沈下が生じない、②背面盛土が十分な強度を有しているため自立する、③既に多くの実績を有する補強土擁壁の延長として考えることができ、その設計・施工法も補強土擁壁の手法を随所に適用することが可能等である。この工法の安定性の照査は、次の3段階で実施する。まず、RC橋台躯体とジオテキスタイル連結部の損傷については、アプローチブロックが安定であるものとして、RC橋台躯体、およびセ

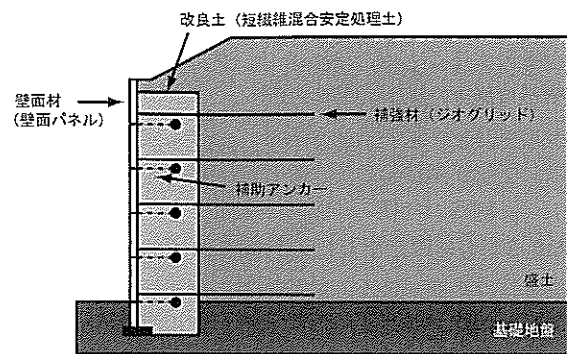


図-7.14 補強材と壁面材の結合部に改良土を用いる補強土壁の概要



図-7.15 補強材と壁面材の結合部に改良土を用いる補強土壁の概要

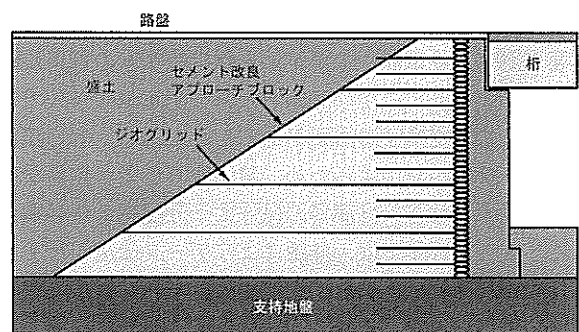


図-7.16 セメント改良補強土橋台の概要

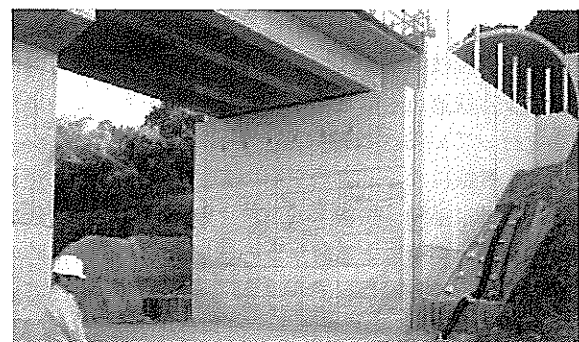


図-7.17 セメント改良補強土橋台の概要

メント改良された背面盛土と RC 橋台躯体を連結するジオテキスタイルに生じる荷重と変形を、静的非線形解析によって計算し、その損傷レベルを照査する。次に、アプローチブロックの滑動・転倒モードに関しては、アプローチブロックを含む仮想背面を仮定し、全体の力の釣