

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月10日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760358

 研究課題名（和文） 地盤震動計測による盛土の排水機能の健全度診断技術
 ～長く安全に使うために～

 研究課題名（英文） Health monitoring of drainage function of embankments
 by monitoring ground vibration ~for long and safe use~

研究代表者

一井 康二 (KOJI ICHII)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：70371771

研究成果の概要（和文）：

本研究では、地盤の健全度診断技術手法として、含水比の変化等によるせん断波速度の変化に着目し、常時微動計測の活用を目指した。しかし、現場実測では工場等を発生源とすると思われるノイズの影響が大きく、困難であった。そこで、常時微動ではなく、人工震源による表面波探査の適用性を検討した。実際に、潮位変動の大きな瀬戸内海の岸壁上で表面波探査を行い、水位変動に起因すると思われるせん断波速度の変化を検出できた。

研究成果の概要（英文）：

In this research, application of the microtremor monitoring as a health monitoring of a ground is considered focusing on the variation of the shear wave velocity of the ground due to the variation of the ground conditions such as water content in the ground. However, in a field measurements, noises from neighborhood factories or something was one of the sever difficulties in practice. Then, application of not a small signal in microtremor but a larger signal induced by artificial vibration in multichannel surface wave method is focused. In practice, the research team succeeded to observe the variation of ground water level in a quay wall due to the tidal effect.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤防災・地盤地震工学

1. 研究開始当初の背景

平成 21 年 8 月 11 日に生じた地震では、東名高速道路の盛土が崩落して大きな問題となった。この崩落原因に関して、盛土材として使用した泥岩がスレーキングにより劣化したものと考えられている（東名高速道路牧之原地区地震災害検討委員会第 2 回委員会）。このように、従来は盛土のような土構造物は、初期の圧密沈下を除くとメンテナンスフリーであると考えられることが多かったが、実際には材料の劣化や排水溝の機能不全といった経年変化を考慮する必要があることが認識されてきた。

排水機能の劣化には、種々の要因があり、劣化そのものを完全に防ぐことは難しい。そこで、今後の災害の発生を防ぐには、排水機能の健全度を考慮した耐震診断が必要となる。しかし、排水機能の良否を評価できる実用的な手法はなく、これらの手法の開発が急務となっていた。

2. 研究の目的

本研究は、盛土の降雨前後の地盤震動特性から排水機能を定量的に評価する技術を確認することを目的としている。

3. 研究の方法

研究は、実測によるアプローチ、実験によるアプローチと解析によるアプローチの 3 つの方法で実施した。

実測によるアプローチでは、野外の実盛土で、実際の排水機能の程度を計測した。そして、盛土内の水の挙動の実態の把握を試みた。さらに、本研究では、実盛土において、常時微動計測で降雨前後の震動特性も計測した。震動特性としては、H/V スペクトル等によって求まる固有振動数に着目し、降雨量との相関性を検討した。

実験によるアプローチでは、含水比の異なる供試体を作成し、ベンダーエレメント試験により、せん断波速度の変化を計測した。このとき、降雨による地盤の加湿過程と、降雨後の乾燥過程のそれぞれについて、せん断波速度の変化を計測した。

解析によるアプローチでは、数値解析により、排水機能が劣化した盛土の、降雨による震動特性変化を定量的に検討した。

4. 研究成果

実測によるアプローチでは、複数の擁壁において常時微動計測を実施したが、工場等を発生源とすると思われるノイズ等により、擁

壁の固有振動数を適切に推定することが困難であった。この点については、ノイズの原因をさらに解明したうえで、論文等にまとめる予定である。しかし、当初想定した手法が現実的には適用困難な地点が存在する、といった点が明らかになり、別途異なる手法の適用を考慮する必要が生じた。

そこで、常時微動より S/N 比がよい、人工震源を用いた表面波探査に着目した。また、地盤の含水比の変化が明瞭に生じる、潮位変動の大きな瀬戸内海の岸壁に着目し、岸壁背後地盤の地下水位変動の測定を試みた。

実際の計測波形の例を図 1 に示す。このように、S/N 比に改善が見られ、地盤震動を的確に計測できることを確認した。

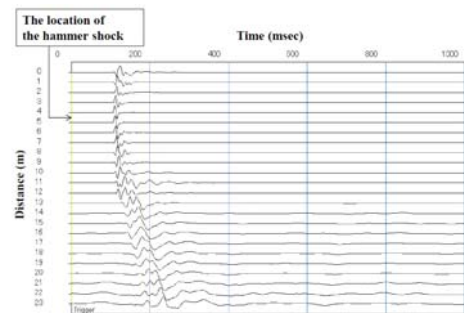


図 1 表面波探査における地盤震動の例

計測した地盤震動は、表面波の位相速度の分散曲線に変換され、その結果をもとに地盤内のせん断波速度の分布を推定する。実際に、地盤内のせん断波速度分布を推定した結果を図 2 に示す。

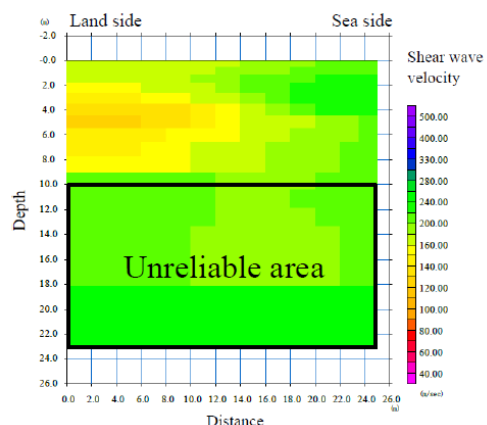


図 2 せん断波速度の推定事例

理論的に、深度の深い地点については精度が担保されていない。一方で、おおよそ、深度 10m あたりまでは一定の精度を有していると考えられるが、この点については検証が必要であり、検証を実施した。

図3に示す、別途実施されていたスウェーデン式サウンディング試験結果から推定したせん断波速度と、表面波探査にもとづくせん断波速度の推定結果を比較することで、推定したせん断波速度分布に一定の精度があることを確認した。

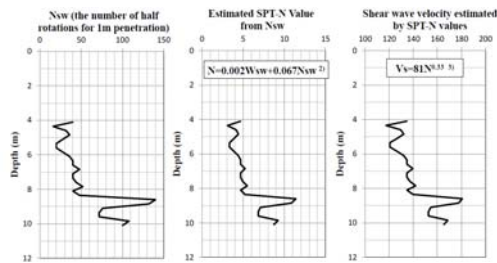


図3 別途推定したせん断波速度分布

満潮時と干潮時の計測結果より、せん断波速度の変化を推定した結果の例を図4に示す。このように、含水比の変化をせん断波速度の変化として実測できることが明らかとなった。

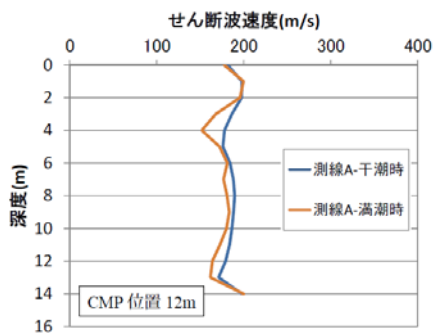


図4 満潮時と干潮時のせん断波速度

実験的アプローチでは、含水比の変化によるせん断波速度の変化を定量的に明らかにすることを試みた。図5は、ベンダーエレメント試験により求めた、降雨時の地盤のせん断波速度の変化の例である。含水比の増加により、明らかにせん断波速度が低下している。これは、図4の計測結果とも整合するものであり、図4の計測結果を定量的に評価する際に有用な実験結果である。

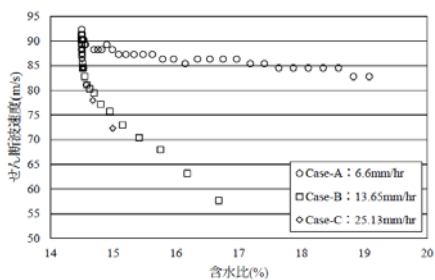


図5 含水比とせん断波速度の変化

実際のせん断波速度の変化は、サクシジョンの変化と連動していると考えられ、湿潤過程と乾燥過程ではその挙動が異なると考えられる。そこで、乾燥過程の実験結果を図6に示す。この実験では、サクシジョンの変かも計測しており、サクシジョンの変化がせん断波速度の変化に影響を与えていることが明らかとなった。しかし、乾燥過程において、サクシジョンが急上昇する含水比と、せん断波速度が急上昇する含水比は異なっており、サクシジョンの急上昇があった後、しばらくしてからせん断波速度が急上昇するという、興味深い結果が得られた。この点については、不飽和土の構成式等を検討する上で、有用な知見である可能性がある。

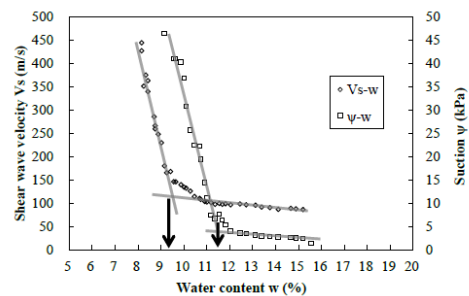


図6 サクシジョンとせん断波速度の変化 (乾燥過程)

解析的アプローチでは、図5および図6に示すようなせん断波速度の変化が、どの程度の擁壁の固有振動数の変化になるかを、有限要素法により検討した。検討に用いた有限要素モデルを図7に、検討結果の例を図8に示す。検討結果では、固有振動数の変化量は大きく、ノイズ等の問題がなければ、常時微動計測でも十分に計測可能であるレベルであることが明らかとなった。

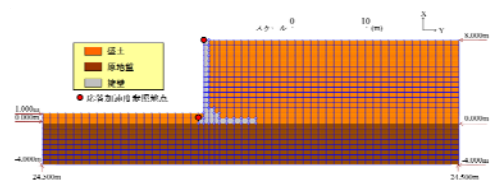


図7 擁壁の有限要素モデル

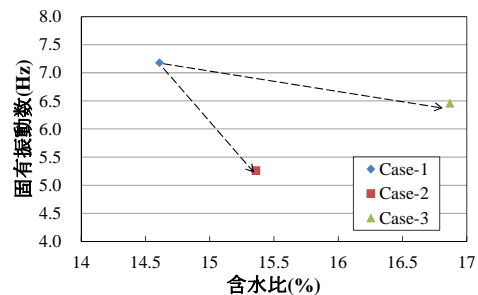


図8 含水比と固有振動数の変化

以上の研究成果をまとめると、次のようになる。

- ・含水比の変化とせん断波速度の変化をベンダーエレメント試験により、定量的に評価できることを明らかとした。これにより、せん断波速度の計測ができれば、地盤の含水状態を把握でき、健全度診断が可能であることがわかった。
- ・地盤の乾燥過程におけるサクシジョンの増加とせん断波速度の増加は深く関係している。しかし、サクシジョンの急上昇が先行する。これは、不飽和土の挙動の理解とモデル化において有用な知見である可能性がある。
- ・常時微動計測による擁壁の固有振動数の把握は、工場等に起因するノイズにより、実現困難な場合がある。よって、S/N比の高い何らかの方法の開発が必要である。
- ・人工震源を用いた表面波探査は、S/N比が改善され、地盤震動を計測可能である。また、表面波探査により推定した地盤内のせん断波速度は、サウンディング試験結果より推定したせん断波速度分布と整合しており、一定の精度がある。
- ・表面波探査により、潮位変動による地盤内の含水比に起因したせん断波速度を把握することが可能である。これにより、表面波探査は、地盤の健全度診断技術として極めて有望であることが明らかとなった。
- ・常時微動による実測は困難であったが、解析的検討の結果では、地盤内の含水比分布の変化により擁壁の固有振動数が変化する。したがって、固有振動数の計測による健全度診断も不可能ではないと考えられるが、適切な計測技術が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

1. 河野真弓・村上陽平・湯浅香織・柴尾享・北出圭介・一井康二、せん断波速度の変化に着目した地盤の健全度診断技術に関する基礎的研究、地盤工学会中国支部論文報告集、地盤と建設、Vol. 30, No. 1, pp. 77-84, 2012. (査読有)
2. 村上陽平・一井康二・丸山喜久・秦吉弥・福島康宏、高速道路盛土の地震時被災予測とその復旧期間の推定法に関する研究、地盤工学会中国支部論文報告集、地盤と建設、Vol. 30, No. 1, pp. 71-76, 2012. (査読有)
3. 角礼雄・一井康二・秦吉弥・森祐樹、推定地震動の差異を常時微動計測に基づき定量的に評価する手法の検証、地盤工学会中国支部論文報告集、地盤と建設、Vol. 30, No. 1, pp. 109-116, 2012. (査読有)

4. 一井康二・角礼雄・秦吉弥・保利修、常時微動による地震動の差異の定量的評価の試み、地盤工学会中国支部論文報告集、地盤と建設、Vol. 29, No. 1, pp. 55-62, 2011. (査読有)

[学会発表] (計3件)

- 1) Ooki Kurihara, Koji ICHII, et al., Application of Surface Wave Exploration method to a Sheet Pile Quay Wall, Proceedings of 11th Japan/Korea Joint Seminar on Geotechnical Engineering, Hiroshima, Oct. 26-27, 2012, pp. 224-229.
- 2) Naoki Orai, Koji ICHII, Development of Health Monitoring Method on the Foundation of Telephone Poles using Vibrations, Proceedings of International Conference on Civil and Environmental Engineering, ICCEE-2012, Higashi-Hiroshima, Japan, Aug. 17-18, 2012, CD-ROM.
- 3) Mayumi KAWANO, Koji ICHII, et al., Ground Health Monitoring Based on Variations in Shear Wave Velocity, Proceedings of International Conference on Civil and Environmental Engineering, ICCEE-2012, Higashi-Hiroshima, Japan, Aug. 17-18, 2012, CD-ROM.

[その他]

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

一井 康二 (KOJI ICHII)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：70371771

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし