

既設基礎構造物の地震時変状低減対策とその効果

キーワード：既設構造物、地震、液状化、遮水壁

基礎地盤コンサルタンツ 正会員 本橋 悠
茨城大学 フェロー会員 安原一哉
茨城大学 正会員 村上 哲
茨城大学 正会員 小峯秀雄

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災においては、茨城県においては、歴史上稀に見る震災をこうむった¹⁾。津波による被害とともに、液状化による被害も顕著であった。とりわけ、住宅の液状化被害は、図-1に示すように、沿岸域、埋め立て地、旧河道において顕著であった^{1), 2)}。

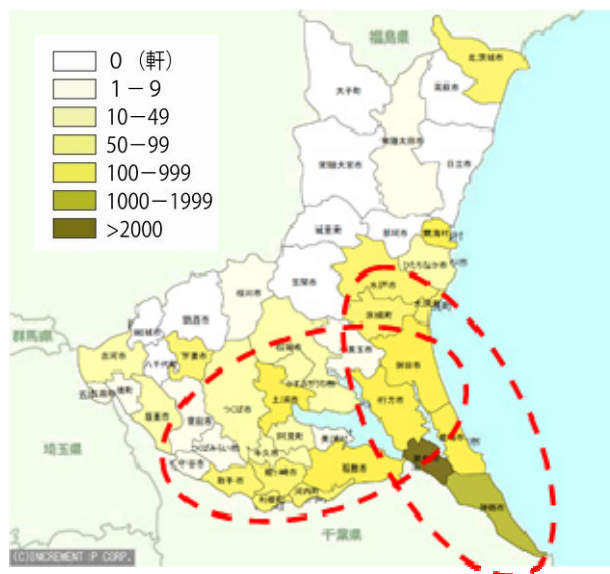


図-1 茨城県における液状化被害分布^{1), 2)}

一方、近年、地下水の汲み上げ規制および気候変動によると思われる地下水位の上昇が懸念されている³⁾。地下水位の上昇に伴って、地震時には液状化が発生する可能性の高い地域が増加すると考えられる³⁾。液状化は地盤の支持力を低下させ、既設構造物の浮上や沈下などの被害を及ぼすため、都市の防災・減災上、非常に重要であるが、既設構造物に液状化対策を施すことは現実的には困難な課題である。

そこで、本研究では、はじめに、地震時における地盤の地震時液状化現象に伴う構造物沈下挙動に及ぼす地下水位の影響を調査するために1g場における振動台模型実験を行った。

次に、液状化被害を低減するための対応策に関する実験を同じ試験装置を用いて実施した。本研究では、液状化対策工法として、特に、連続地中壁工法に着目した。その理由は連続地中壁工法は、低振動・低騒音のため、

市街地における既設構造物に適用可能な工法と考えたためである^{4), 5)}。

最後に、地震時砂地盤の沈下・変形の抑制の方法として、連続地中壁工法と地下水位低下工法の併用を提案⁵⁾し、模型実験によってメカニズムの解明とともに、構造物の沈下低減効果の検証を行った。

2. 模型実験の概要

図-2に本研究で使用した振動台模型実験装置を示している。以下に、振動台模型実験装置の概要、実験手順および実験条件を紹介する。

2.1 1g場における 模型実験の概要

本研究で用いた装置は、模型土槽を振動台に剛結するものである。模型土槽は高さ400mm、奥行き200mm、幅1000mmであり、作製地盤は高さ390mm、奥行き200mm、幅1000mmである。地盤材料には豊浦砂(土粒子の密度 $\rho_s=2.648\text{g/cm}^3$)を用いた。作製したモデル地盤は地震による被害を受けやすい、緩く堆積した地盤を想定し、目標相対密度 $D_r=30\%$ とした。

また、重量構造物を模擬して作製した模型構造物は高さ160mm、奥行き190mm、幅100mmであり、質量は6280g(単位体積重量 $\gamma=20.28\text{kN/m}^3$)とし、根入れ深さは構造物の幅と同じ100mmとした。なお、本文で言う重量構造物とは、飽和した砂地盤の単位体積重量より大きな単位体積重量の構造物のことを総称している。

地盤と構造物における変状を計測するために、図-2に示すように、変位計5個、間隙水圧計5個、加速度計3個を所定の位置に設置した。

2.2 実験手順

以下に模型実験の手順を示す。

- (1) 炉乾燥法により乾燥させた豊浦砂を空中落下法により、土槽表面から落下させ、地盤高さ 390mm の地盤を作製した。地盤を作製する際に、地表面から 170, 210, 250, 290, 370, 390mm の高さにおいて墨汁で色を付けた豊浦砂(以下、色砂と称する)を 2mm の厚さになるまで堆積させた。
- (2) また、地盤の高さが 290mm まで達した時に、砂地盤表面に模型構造物を設置した。

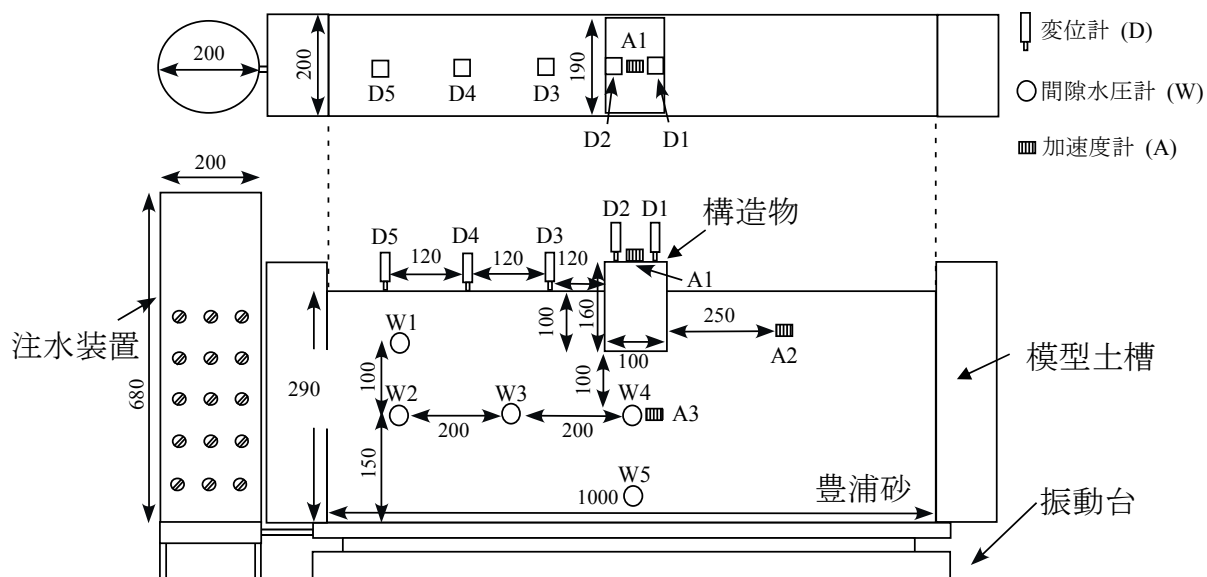


図-2 模型実験装置概要図

- (3) 図-2 に示した注水装置により、土槽底部から、速度 0.65mm/min で注水し、水位を地表面まで上昇させた。
- (4) また、地下水位を低下させる場合は、いったん水位を地表面まで上昇させた後、15 分間放置して、排水速度 0.65mm/min で土槽底部から排水させ、所定の位置まで水位が達したことを確認して排水を停止した。
- (5) 地下水位上昇(あるいは低下)後、土槽を周波数 5Hz の正弦波、振動加速度 200gal で6秒間、水平方向に加振した。加振時においては、図-2 に示した計測器によって構造物および地盤の鉛直変位、応答加速度、過剰間隙水圧を測定した。

3. 実験結果と考察

本研究では、液状化の危険性のある砂地盤上の既設構造物の安定性を増大させる方法を提案することにある。具体的には、このことのために、(i)連続地中壁を打設する、(ii) 地下水位を低下させる、という二つの方法を講じることを提案し、その効果を模型実験によって確認することを目指した。そのために、①連壁の無い場合、②連壁のある場合の2種類の実験を行った。併せて、地下水位の位置の影響を組み合わせた。実験条件は表-1 に示すとおりである。

地下水位の位置は、図-3 に示すように、(i)地表面にあるとき、(ii)地表面から 100mm の位置(構造物底部)まで低下させたとき、(iii)地表面から 200mm の位置(仮想すべり面底部)まで低下させたとき、の3種類とした。一方、地中壁の打設深さは、図-4 に示すように、構造物の底面から、 0mm , 50mm , 100mm , 150mm の4種類とした。したがって、地中壁の長さは、それぞれ、 100mm , 150mm , 200mm , 250mm である。なお、これらの条件に加えて、表-1 に示したように、構造物の側

面と地中壁を結合させる場合と結合させない場合についても実験条件の中に取り入れた。

表-1 模型実験条件

No.	連続地中壁の条件		地下水位の位置 (mm)
	根入れ深さ (mm)	結合の有無	
Case1-1	0(無対策)	無	0 (地表面)
Case1-2	50		
Case1-3	100		
Case1-4	150		
Case2-1	50	有	100 (構造物底部)
Case2-2	100		
Case2-3	150		
Case3-1	0	無	200 (すべり面底部)
Case3-2	50		
Case3-3	100		
Case3-4	150		
Case4-1	0	無	200 (すべり面底部)
Case4-2	50		
Case4-3	100		
Case4-4	150		

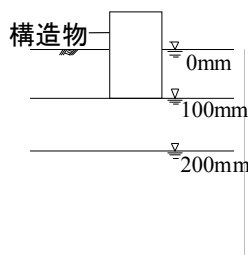


図-3 地下水位の設定位置

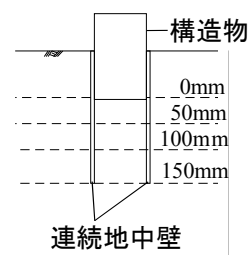
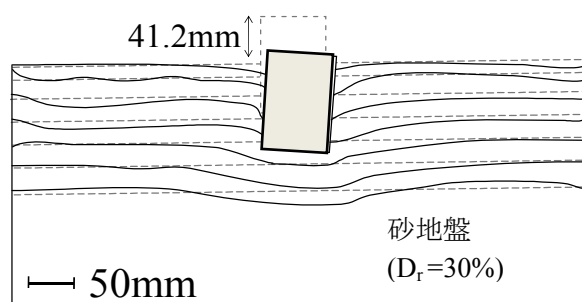


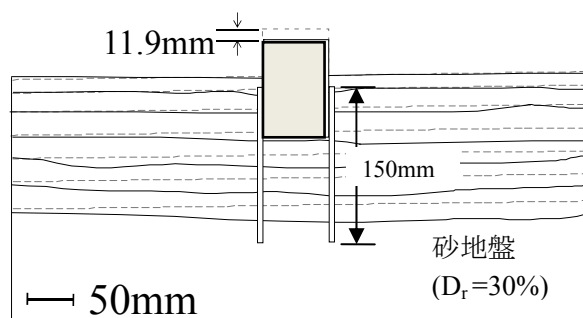
図-4 連続地中壁の設定根入れ深さ

3.1 連続地中壁の効果

(1) 地中壁の打設効果



(a) 地中壁なし (Case1-1)



(b) 地中壁あり (Case1-4、壁長：150 mm, L/B=1.5)

図-5 加振後の構造物の変状に及ぼす地中壁の効果 (地中壁と構造物の結合なし)

図-5は、構造物と地中壁を結合していないモデル地盤の加振後の構造物の変状に及ぼす地中壁の効果を示した例である。図-5(a) (地中壁なし (Case1-1)) の場合と(b) (地中壁あり (Case1-4、壁長：150 mm, L/B=1.5)) の場合を比較してみると、以下のことがわかる。

- i) 地中壁のある場合は、明らかに沈下量を抑制されている。また、側方流動も小さくなっている。
- ii) 同時に、構造物は傾斜することなく安定を保っている。

(2) 地中壁と構造物の結合効果

一方、同じ長さの地中壁を打設するときに、地中壁と構造物を結合させた場合の事例は図-6に示すとおりである。この場合の地中壁の根入れ長さは、図-5(b)と同様に、150 mm である。

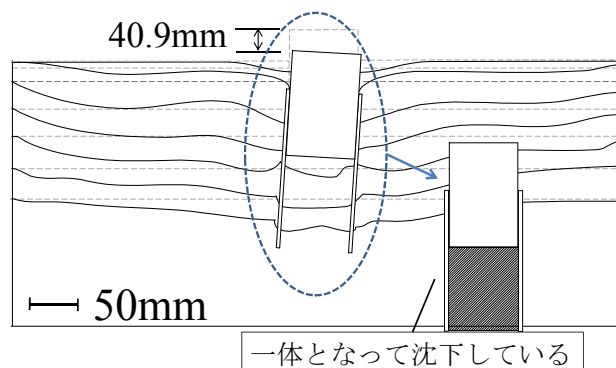
図-6 加振後の構造物の変状に及ぼす地中壁の効果
(地中壁と構造物の結合あり、Case 2-3, L/B=1.5)

図-6 (結合あり) と図-5(b) (結合なし) を比較してみると、地中壁と構造物を結合させると、構造物と地中壁とが一体となって沈下しており、したがって、加振後の沈下量は地中壁の無い場合 (図-5(a)) の構造物の沈下と同じ程度の大きな沈下が起きている。また、側方流動も結合していない場合に比べると、大きくなっていて、構造物は不安定になっている様子がわかる。

図-7 は加振時の構造物沈下量と地中壁の係に及ぼす結合の影響をまとめたものである。これから、まず、値入深さが深いほど、沈下量は小さいことは明らかである。また、少なくとも本実験においては、地中壁と構造物は結合させずに、独立して敷設する方が地震時にお

ける構造物や地盤の沈下や変形を抑制できると結論される。

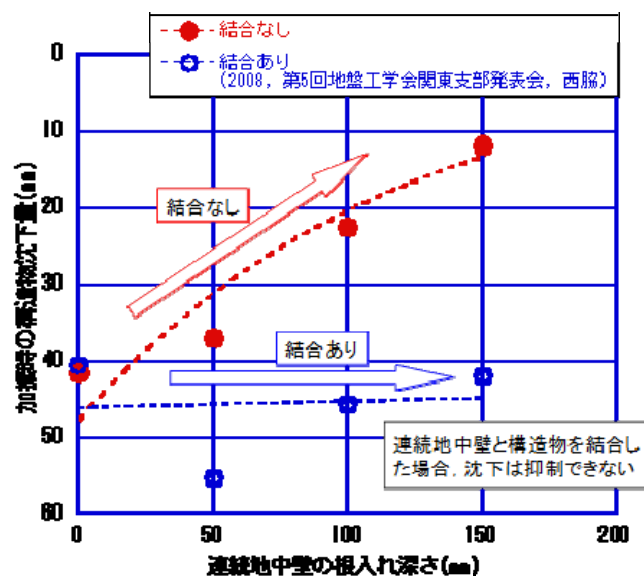


図-7 加振時の構造物沈下量と地中壁の係に及ぼす結合の影響

(2) 地下水位低下の効果

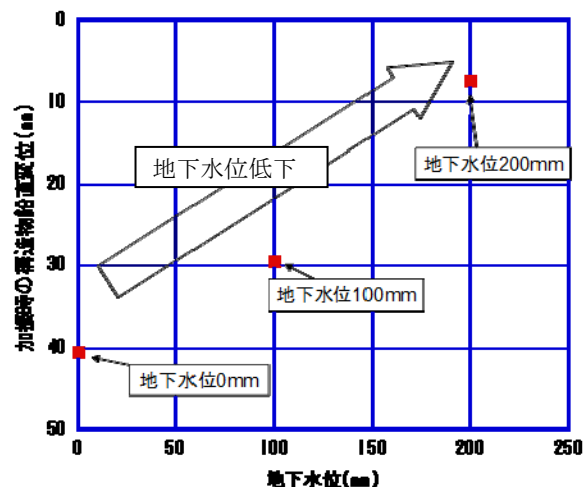


図-8 地下水位が加振時の構造物沈下量に及ぼす影響

地震時における液状化の影響を低減させるために、地

地下水位を低下させる方法が効果のあることは広く認められている。ここでも、同様の効果が認められるかを検証してみる。

図-8 は地下水位が地表面(0mm)から、構造物底面(100mm)、仮想すべり面底面(200mm)にそれぞれ低下させた場合の地下水位低下と構造物の沈下量の関係を示したものである。明らかに地下水位の低下に伴って沈下量は直線的に低下していることがわかる。

(3) 地中壁打設と地下水位低下の併用効果

以上の結果から、地中壁打設と地下水位低下の併用が地震時構造物の変状の低減に一層の効果があると予測されることからこのことを検討した結果を示してみよう。

図-9 と図-10 は、それぞれ、地下水位の位置と地中壁の値入深さをパラメータにして、それぞれが構造物の沈下量に及ぼす影響について整理したものである。これ

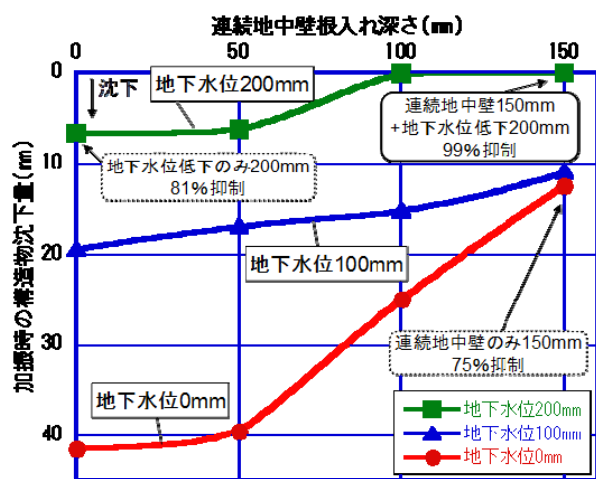


図-9 構造物の沈下量と地中壁根入れ深さの係に及ぼす地下水位の影響

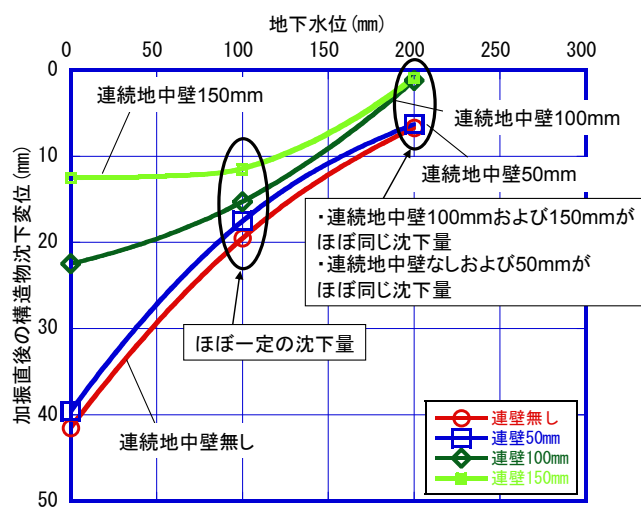


図-10 構造物の沈下量と地下水位の係に及ぼす地中壁の根入れ深さの影響

らから、以下のことが指摘できる。

- 1) 連続地中壁工法と地下水位低下工法を併用した場合、

連続地中壁の根入れ深さを増加させ、地下水位を低下させることにより、地震時の構造物の沈下を抑制できる。また、これら2種類の工法を併用することによって、各々の工法を単独で用いる場合より大きな抑制効果を発揮する。この要因は、連続地中壁工法による地盤の側方流動を拘束する効果と、地下水位低下工法による液状化の発生を抑制する効果の両方が発揮されたためと考えられる。2) 連続地中壁を非液状化層まで根入れした場合の沈下量と、地下水位を仮想すべり面底部まで低下させ、連続地中壁を仮想すべり面底部以深まで根入れする場合の沈下量はほぼ同程度である。このことから、両者には同等の沈下抑制効果があると考えられる。そのため、埋設管などが存在し、連続地中壁が非液状化層まで根入れ出来ない場合においても、連続地中壁工法と地下水位低下工法を併用することにより、液状化対策として十分な対策効果を発揮すると考えられる。

4. まとめ

- 1) 地震時砂地盤上の構造物の沈下・変形の抑制の方法として、連続地中壁工法と地下水位低下工法を併用する方法提案した。
- 2) この方法の妥当性を模型実験によって検証を行い、とりわけ、構造物の沈下低減に対してこの方法が効果的であることを実証した。
- 3) 施工にあたっては、構造物と地中壁を連結する必要のないことも確認した。

謝辞：本研究の一部は、環境省地球環境推進研究 S-4(FY2005-FY2009)及びS-8 (FY2010-FY2014) (ともに、研究代表者：茨城大学・三村信男教授)の援助を受けた。ともに付記して深甚の謝意を表する次第である。

引用文献

- 1) 安原・田村・田林・中村：東日本大震災における茨城県の住宅被害特性、2011 地震工学大会-2011 梗概集、pp. 76-77, 2011.
- 2) Yasuhara, K., Tamura, M., Tabayashi, Y., Murakami, S. and Nkajima, H. (2012): Residential damage in Ibaraki during the Great Eastern Japan Earthquake, *Proc. International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake* (in press).
- 3) Yasuhara, K., Murakami, S., Mimura, N., Komine, H. and Juan, R.: Influence of global warming on coastal infrastructural instability, *Journal of Sustainable Science*, Vol.2, No.1, pp.13-26, 2007.
- 4) Yasuhara, K., Komine, H., Murakami, S. and Shibata, H. : Instability of foundations undergoing rise in groundwater level, *Proc. International Conference on Foundations*, No. 136, pp.1615-1624, 2008.