

液状化地盤における独立基礎模型の沈下低減対策

A Countermeasure Against Settlement of a Column Footing Model in Liquefied Ground

北田 幸彦*、北浦 勝**、梶川 隆則***

Yukihiko KITADA, Masaru KITAURA and Takanori KAJIKAWA

*工修 金沢大学大学院博士後期課程学生 (〒 920-8667 金沢市小立野 2-40-20)
**工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒 920-8667 金沢市小立野 2-40-20)
*** 金沢大学大学院博士前期課程学生 (〒 920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

In order to reduce the settlement of a column footing model in liquefied sand soil, we performed shaking table tests making use of the model with underground walls. From the results of the tests which were conducted for the purpose of studying the mechanism of decrease in settlements of the model with simple walls, we improved them on two points: one is to make the bottom of the walls thicker, and the other is to surround the surface of walls with gravel. Both methods are available independently, however by using both in combination, the settlement of the model relative to that of the ground was perfectly inhibited under a certain weight of the model.

Key Words : liquefaction, settlement, short underground wall, gravel

1. はじめに

液状化した砂地盤における独立基礎の沈下低減を目的として、短い地中壁を設置した独立基礎模型を使用して、振動台による室内模型実験を行った。

従来液状化対策として数々の対策工が実用化されてきているが^{1),2)}、多くは新設の建物を沈下させないことを目的としている。しかし、既設の建物に適用するには困難であったり、コスト的に無理があるものに対しては、全体の沈下量の低減や、不同沈下を避けるための簡易な対策工もあるべきであろう。けれども、液状化した地盤中での基礎の沈下メカニズムに関するような研究^{3),4),5)}は多く見られない。そこで本研究は比較的単純な方法によって、最終的には既設の建物にも処置を行うことができるような沈下低減対策工を開発することを目的とする。

本文は、その一方法として、短い地中壁を主体とした対策工を想定し、短い単純地中壁の有無による独立基礎模型の沈下メカニズムを考察し、それに基づいて改良した方法による沈下低減効果に関する室内模型実験報告を行うものである。沈下メカニズムに関しては文献⁶⁾にも述べているので、重複する部分は本文を述べるにあたり必要とする内容にとどめ、付加実験結果と新たな知見と考察を加えた。なお、実験の目的が模型実験における沈下低減メカニズムの考察と、無対策模型に対する対策模型の相対的な沈下低減効果の観測であることから、現時点では実地盤との関連性は特に考慮していない。

2. 単純地中壁による沈下低減メカニズム

2.1 実験方法の概要

基礎模型には厚さ 14mm のラワン木材 ($E=120\text{tf/cm}^2$) を使用して、300mm×300mm の板を基礎底板に想定した。周囲の 4 辺に地中壁としての板と、底板上の 2 辺に設置位置の設定及び載荷荷重(鋼板および砂鉄)の移動防止を兼ねた補強板(300mm×400mm)を、一部切りとって取り付けた。実験装置の基本形と模型の形状を図1に示す。

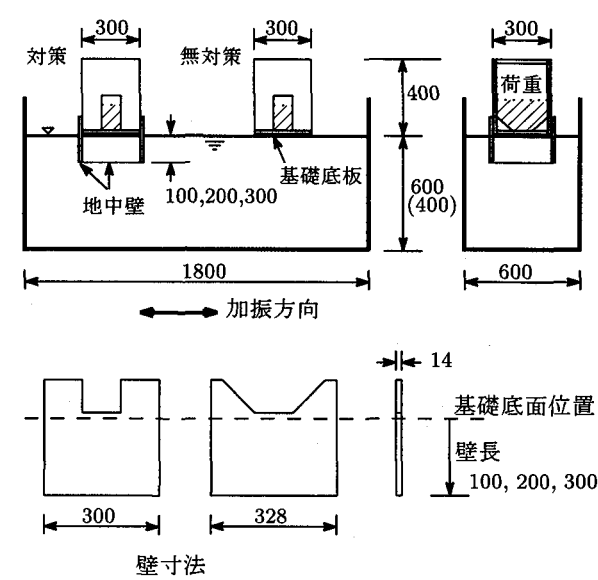


図1 沈下量比較実験装置 (mm)

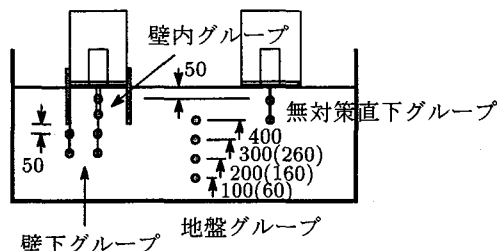


図2 水圧計設置位置(mm)

飽和砂地盤に使用した砂は珪砂5号(平均粒径:0.4mm)で、水位は地表面と一致させた。作成地盤の平均単位体積重量は1.86gf/cm³、平均相対密度32.5%、液状化時の浮力は1.5gf/cm³であった。作成地盤の完全な液状化と、無対策模型の確実な沈下を達成するために、加振力を加速度250gal、正弦波5Hz、模型全重量がほぼ21kgfとなるように設定した。なお、壁を取り付けた対策模型には、地盤内の壁体積分の浮力が作用するので、液状化時に作用する、壁長に応じた浮力分の荷重を模型設置時に付加した。

主な実験の種類は以下の5点である。

(1) 地中壁による沈下低減効果の検証

地盤層厚60cmにおける壁長10, 20, 30cmの3種類と、層厚40cmにおける壁長10, 20cmの2種類の沈下量とを、無対策模型の沈下量と比較した。また、層厚60cmにおける無対策と壁長20cmで、模型総重量を21kgfの0.5, 1.5, 2倍に変えた。作成地盤の、実験ごとのばらつきの影響を避けるため、無対策と対策模型の二つを同時に加振して(図1)、その時の、無対策模型沈下量に対する対策模型沈下量の減少に注目し、対策による沈下低減効果の評価式を、

$$\text{沈下低減率} = \frac{\text{無対策沈下量} - \text{対策沈下量}}{\text{無対策沈下量}} \times 100(\%)$$

により定義する。ここで、模型の沈下量は地盤内への侵入量を意味した地盤に対する相対沈下量であり、設置位置からの絶対沈下量とは異なる。無対策模型が地盤内へ沈下し、対策模型が地盤上にとどまるときに低減率は100%となる。なお、液状化後の模型及び荷重の沈降体積による浮力増分の影響に関しては、増分を無視した予備実験の結果、沈下低減率が若干低下したので、安全側の評価値を得ると考え、特に配慮を行っていない。

(2) 各模型の沈下時刻履歴の計測

模型沈下状況をVTRで撮影し、絶対沈下量を1秒ごとに読みとった。計測値は模型設置位置からの降下量であり、(1)の沈下量に地盤沈下量を付加した値となる。

(3) 過剰間隙水圧の計測

過剰間隙水圧の測定は、層厚60cmにおいて行った。水圧計の設置位置を図2に示す。設置位置の記していない水圧計は実験ケースによりその位置を変えたものである。なお、()内の値は後述(5)の実験における、層厚40cmでの設置位置を示す。

(4) 液状化地盤の流動観測

層厚60cmにおいて、砂箱側面のアクリル板面に沿って

表1 沈下量(cm)

層厚 (cm)		地盤	無対策	対策模型壁長 (cm)		
				10	20	30
40	回数	6回	6回	3回	3回	—
	最大	1.2	15.5	10.6	5.0	—
	最小	0.6	11.6	7.1	3.5	—
	平均	0.9	13.8	8.6	4.5	—
60	回数	9回	9回	3回	3回	3回
	最大	1.7	28.0	18.9	13.1	7.6
	最小	0.6	22.1	17.9	11.0	5.6
	平均	1.3	25.3	18.6	12.0	7.0

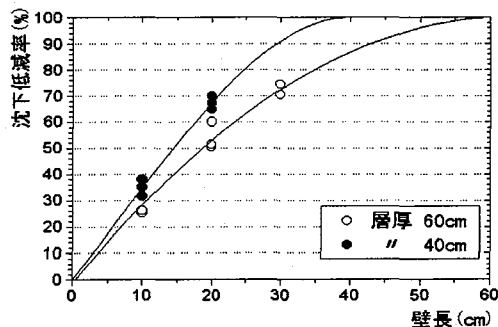


図3 壁による沈下低減率

格子状5cm間隔に色砂を設置し、地中壁の一面を取り外して砂箱側面に接触させた。無対策、壁長15cm, 30cmの3ケースについて、色砂マーカーの動きを観測した。

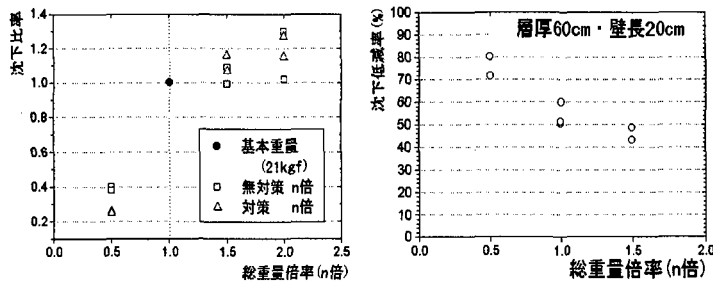
(5) 支持力の復帰した層表面位置の時刻歴

液状化直後から、沈降した砂粒子が砂箱底部から上層に向かって堆積し、その部分で支持力が復帰する。従って実験においては、沈下中の模型から、支持力の復帰した層表面までの沈下可能距離は時刻とともに減少するので、この層の表面位置(あるいは堆積層厚)の時刻歴を調べておく必要がある。特定位置における過剰間隙水圧の時刻歴において、液状化後の過剰水圧の消散開始点は、有効応力の復帰開始点となるから、消散開始時刻に、堆積層の表面が水圧計の設置位置まで到達したものと捉えることができる。従って砂箱底面から一定距離にある数カ所(図2、地盤グループ)で得られた過剰間隙水圧時刻歴から、消散開始点の時刻と水圧計設置位置との関係をプロットして、それらの点にフィットする曲線を引くことによって、フィット曲線から時間軸までの垂直距離を支持力の復帰した層厚と判定する。消散開始点の決定は、設置位置ごとの過剰間隙水圧グラフを重ね合わせたときの、グラフの一致開始点とした⁶⁾。

2.2 実験結果及び考察

(1) 沈下低減効果

層厚と壁長を変えたときの沈下量の測定結果一覧を表1に、沈下低減率を図3に示す。また、同一模型において基本重量(21kgf)時の沈下量と、重量を変えたときの沈下量との比較を図4(a)に、重量を変えたときの低減率を、図4(b)に示す。図3から壁長を長くすると低減効果が上



(a) n 倍重量時の沈下比率

(b) 沈下低減率

図4 荷重変化による沈下量の変化(層厚 60cm)

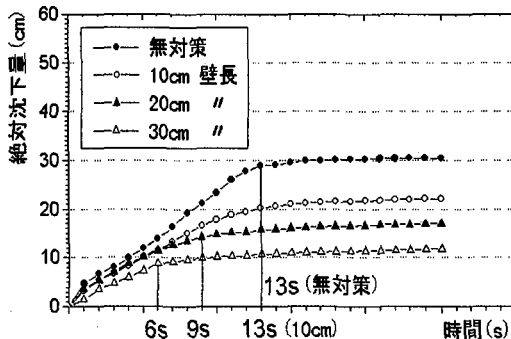


図5 模型の沈下時刻歴

ることが確認できる。重量を変えた場合は、図4-(a)より、重量が増えるほど沈下量も増えているが、液状化地盤層厚の制限があるので増加率は減少している。しかし、図4-(b)で沈下低減率が低下するから、基礎重量の大きい建物には向いていないと言える。

(2) 沈下時刻歴

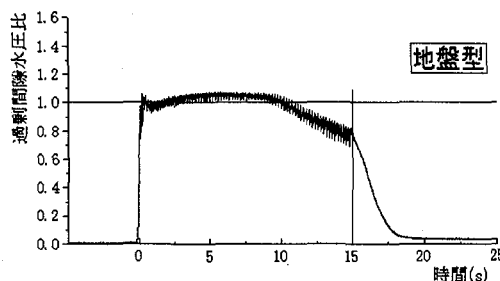
各模型の沈下時刻歴を、層厚60cmでの例をとって図5に示す。地盤沈下量を含むので、地盤内への相対沈下量は2~3cm減少する。加振直後から沈下が始まり、壁長ごとに6~13秒間ほぼ一定速度の急速な沈下が進行し、その後、沈下速度が低下した後に安定する。初期沈下速度は壁長が長くなるにつれて多少小さくなっており、その継続時間も短くなっている。なお、層厚40cmにおいては、壁長が長くなると初期沈下速度の低下が顕著であり、また沈下速度低下点の判別が困難な、緩やかな沈下を示した。

(3) 過剰間隙水圧

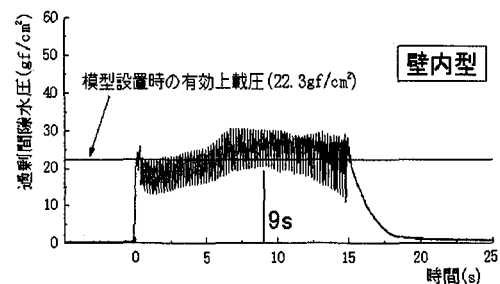
間隙水圧の測定結果は設置位置ごとに共通の傾向を見せたので、層厚60cmでの壁長20cmの例を図6-(a)~(d)に示す。図中の、模型設置時の有効上載圧は砂地盤用に設定した2次元有限要素法⁷⁾によって近似した。ここで、地盤型以外の水圧計は模型下部に設置したバーに取り付けてあり、沈下にもともなってその位置が下降するので、沈下時刻歴(図5)により、静水圧の増加分を引いて過剰間隙水圧を求めた。設置位置の下降により、グラフは図中の設置時有効上載圧の水平線を越えて上昇してゆく。

周囲地盤(図6-(a))においては液状化の発生を確認できる。また壁内(図6-(b))は基礎底板と底板下の地盤との接触強さの程度により、無対策直下や壁下型と同様な形となることもあるが、多くは図に示すような形状となる。この場合、地盤と同様、加振後すぐに設置時有効上載圧に達することからほぼ液状化していると考えられる。

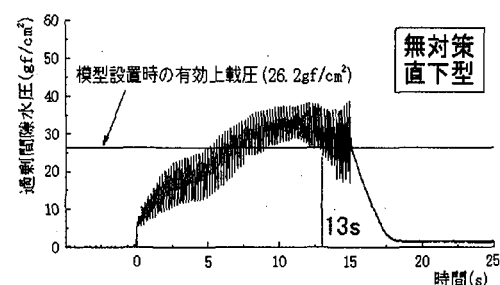
一方、無対策直下及び壁下(図6-(c),(d))では、加振直後には設置時有効上載圧に達しない。設置時の応力解析でも、無対策モデルで基礎底板直下が最大の応力、対策モデルでは壁先端直下で最大となるので⁶⁾、模型直下の領域は液状化しにくく、加振直後もせん断強度が残っていると考えられる。次に、この実験では模型底部の水圧計設置用のバーが、模型よりも先に支持層に到達するので、沈



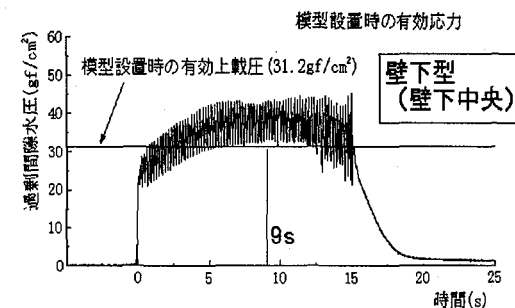
(a) 地表面より 40cm



(b) 壁内、地表面より 15cm



(c) 底板中央直下、地表面より 5cm



(d) 壁間中央、地表面より 30cm

図6 4種の過剰間隙水圧形状(層厚60cm, 壁長20cm)

下終了近くではバーにより模型重量が支持され、水圧計位置は液状化しやすくなり、過剰水圧はピークに達する可能性が高い。バーがなければ沈下は持続する。これらのことは、バーのない沈下履歴図5で、沈下速度が低下する無対策の13sと壁長20cmの9sを、図6-(c),(d)で見ると、その時刻以前に履歴値がピークに到達していることの理由となる。ところが、ピーク値が有効上載圧となる地盤の位置を推定すると、無対策では地表面下38cmで地盤沈下を考慮するとほぼ35cmの沈下に相当し、壁長20cmでは44cmで同じく21cmの沈下に相当するが、それに至る沈下の記録はない。従って、バーが支持層に到達したとき、模型直下の水圧計位置が液状化しているとは考えにくい。以上のことから、模型直下の領域は、加振開始後もせん断強度が維持され、急速に沈下している間、完全な液状化が発生しておらず、その領域が減少しながらもせん断強度が残存して流動しにくくなっていると考えられる。

従って、水圧計設置バーがなければ、この流動しにくい領域が模型と支持力復帰層との間に挟まれることにより、沈下速度が低下するものと推察される。

(4) 地盤の流動

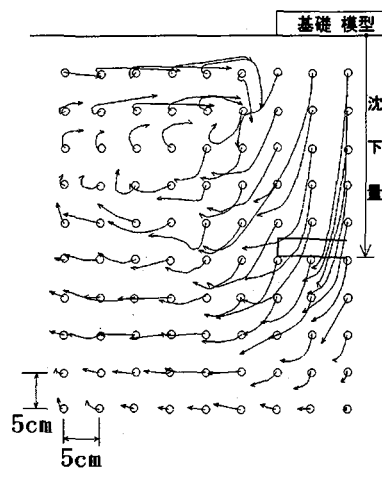
層厚60cmにおける無対策及び壁長30cmの場合について地盤の流動を図7-(a),(b)に示す。白丸が色砂マーカーの設置位置である。黒丸は注目したマーカーであり、その最終位置の明確なものを黒四角で表した。図右端部の下向き矢印は、模型位置の降下を示す。図7-(b)では、壁外面及び壁内の移動の最終位置はマーカーが拡散したので、拡散のほぼ中央点を示した。

無対策模型下部、及び壁長30cm模型の壁内から壁下にかけては鉛直方向の移動成分が多く、側方流動が小さい。図7-(b)で、1, 2の位置は5cm程壁内に侵入し(1', 2')、3と4が多少壁内と壁下へ移動する(3', 4')。これらは沈下速度低下時に顕著になるので、1, 2, 3近辺の、(3)項で仮定した流動しにくい領域が支持層に到達したものと考えられる。

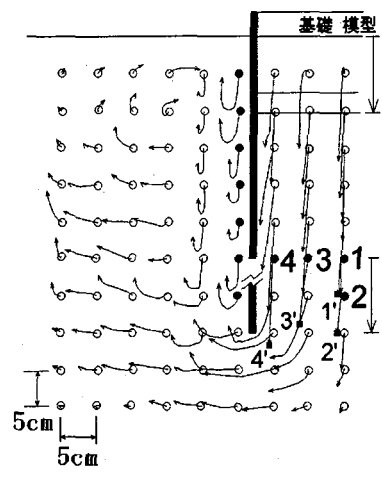
側方への流動成分は、さらにその下方で最大となるが、対策モデルでは模型下部がより砂箱底辺に近く、模型下方流動部の鉛直方向断面積が無対策モデルよりも小さくなる結果、流動の速度(目視で観測)、量とも大きく現れる。このことは、粘性抵抗により、同一距離の沈下に要する時間が対策モデルの方が多少長くなることを示している。さらに対策モデルでは壁外側面の黒丸マーカーが壁に引かれて数秒間下降するので、沈下初期において壁側面に沈下を抑制する力が作用する。壁長が長くなると初期沈下速度が若干するのはこれらの原因によるものと思われる。

(5) 支持力復帰位置と模型最下部との関連

2.1 (5)で述べたごとく、図2の地盤グループの位置での過剰間隙水圧の時刻歴より、支持力復帰層表面位置のフィット曲線を得た。フィット曲線と、沈下履歴(図5)から得た模型最下部位置の時刻歴とを重ねた、層厚60cmでの例が図8で(層厚40cmデータは図9に表示)、これより初期



(a) 無対策モデル



(b) 壁長30cmモデル

図7 地盤の流動図

速度の低下時刻を読みとるとともに、各フィット曲線を時刻軸に一致させて、模型最下部とフィット曲線との距離を示したのが図9-(a),(b)である。

応力近似解析では、両方の層厚で設置時有効応力分布にほとんど差がないので、加振直後、模型直下の液状化しにくい領域は両層厚でほぼ等しいと考えられる。すると、それらの領域が、(3)項で推察したように支持力復帰層に到達したことのみにより沈下速度が低下するならば、図9で実線矢印の長さは両方の層厚でほぼ等しくなるはずである。しかし、例えば無対策モデルを比較すると、層厚40cmの方が $12.5-6.7=5.8$ cm短いので、液状化しにくい領域以外の要素が関与することになる。沈下中に液状化しにくい領域が消滅する(液状化する)量は層厚60cmの方が大きいとすれば、その要素の影響はより大きくなる。

この要素に関しては、一体となって降下する模型と直下の液状化しにくい領域が、その下方に接触する流動中の砂粒子を圧縮するため、圧縮力により流動を抑えられて

その位置に堆積した砂粒子群の領域と判断できる。この粒子群にはせん断強度が存在し、液状化しにくい領域と一体となって、流動しにくい状態にあるものと思われる。

(6) 側方流動しにくい領域

(3)より液状化しにくい領域の存在、(4)で壁内への地盤の進入、(5)において砂粒子の堆積等の考察から、模型下部の流動しにくい層が、側方流動しにくい領域として、模型と支持力復帰層との間に挟まれて沈下速度を低下させることが結論づけられる。

この現象を、層厚60cmにおいて側方流動しにくい領域が模型直下に存在しない場合から検証する。壁の代わりに底板の4隅に杭を設置すれば、沈下中、模型重量は底板下に移るので、杭先端直下の液状化しにくい領域はほぼ消滅し、杭先端直下の砂粒子の堆積も期待できない。よって、沈下状況は無対策モデルと同様になるから、図8で無対策モデルの沈下履歴を、その履歴開始点から杭模型最下部である〔60cm－杭長〕位置まで降下させたとき(図8, 平行移動)、フィット曲線との交点で沈下が終了する。このときの杭模型降下量を z_1 とし、交点Aの高さを支持力復帰層厚 1 とする。一方、壁模型の平均降下量を z_2 として、側方流動しにくい領域を図9-(a)で矢印高さと仮定するならば、矢印高さの平均は11.9cmであるので、先に述べた杭模型の場合とあわせて、次の2式が成立する(図10)。

$$z_1 = 60 - \text{杭長} - \text{支持力復帰層厚}_1$$

$$z_2 = 60 - \text{壁長} - 11.9 - \text{支持力復帰層厚}_2$$

ここで、両モデルの低減率が等しく、その時の無対策モデルの沈下量が同一であるならば、 z_1 と z_2 とはほぼ等しい値とならなければならない。

次節の対策工の改良において、30cm壁の切り取り予備実験で(図11-(a))、底板の4隅に杭を設置したと見なせる状態となった。この場合、図8で無対策の沈下履歴を〔60－30〕cmの所まで降下させたときのフィット曲線との交点Aは(7.5s, 12cm)となり、第1式で、杭長=30cm, 支持力復帰層厚 1 =12cmとなる。一方、この実験では低減率が40%となったので、図3の層厚60cmからこの値は壁長14.8cmに相当する。よって図9-(a)で、壁長14.8cm, 平均矢印高11.9cm相当位置の時刻を約11sと読みとって、図8から11sのフィット曲線群の平均高15.5cmを得る。従って、第2式で、壁長=14.8cm, 支持力復帰層厚 2 =15.5cmとなるから、以上を代入すると、

$$z_1 = 60 - 30 - 12 = 18\text{cm}$$

$$z_2 = 60 - 14.8 - 11.9 - 15.5 = 17.8\text{cm}$$

すなわち、降下量がほぼ等しくなることが確認された。

図9-(b)の模型最下部位置の履歴で、壁長10cmと20cmは速度低下点が判明しがたい緩やかな沈下を示す。例えば壁長20cmの場合、図9-(b)でほぼ2秒後に、層厚60cmにおける13.0cm以下の12.1cm(点線矢印)となる。従って、沈下が緩やかであるのは、側方流動しにくい領域が加振直後から支持力復帰層に接近しているため、沈下開始後間もなく支持力復帰層に到達するためと思われる。

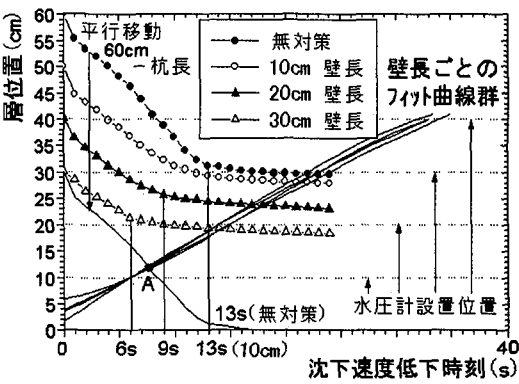
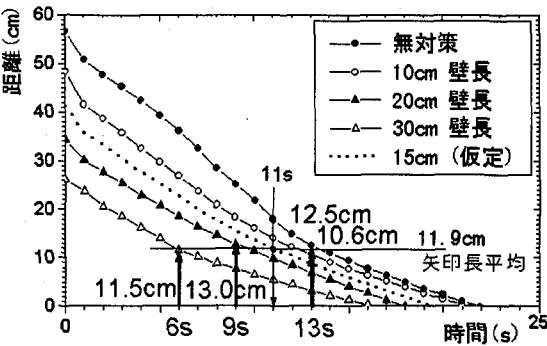
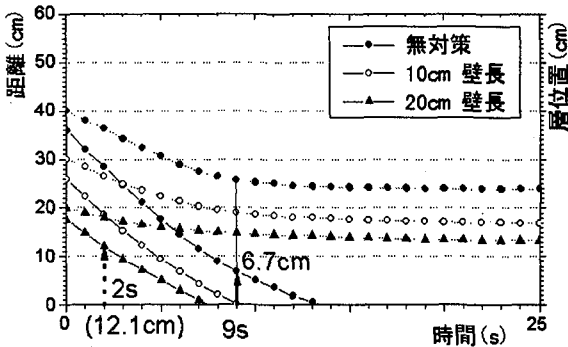


図8 層厚60cmでの模型最下部の位置と支持力復帰位置(層厚40cmは図9-(b))



(a) 層厚60cm



(b) 層厚40cm(図8のデータを同時プロット)

図9 模型最下部から支持力復帰層までの距離

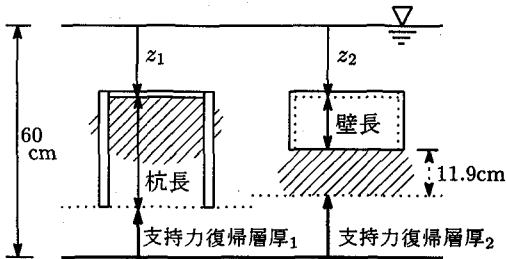
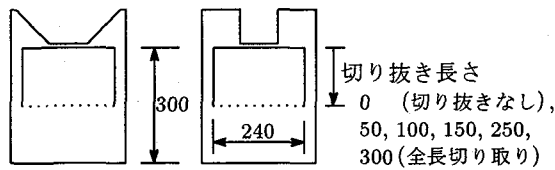
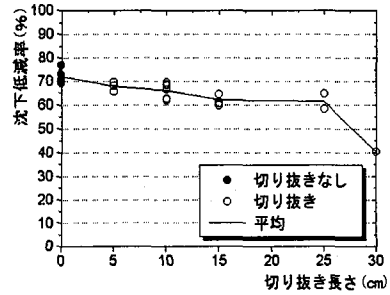


図10 杭模型と壁模型



(a) 30cm 壁長の切り抜き (mm)



(b) 切り抜き壁による沈下低減率

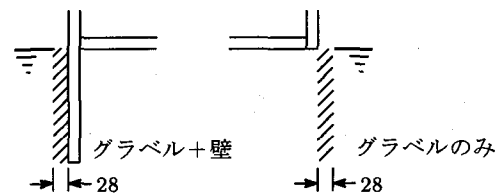
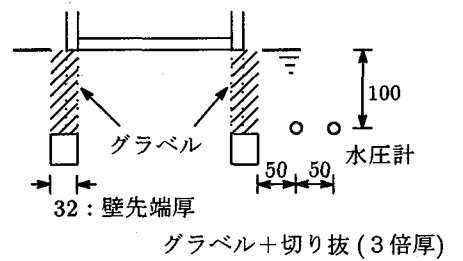
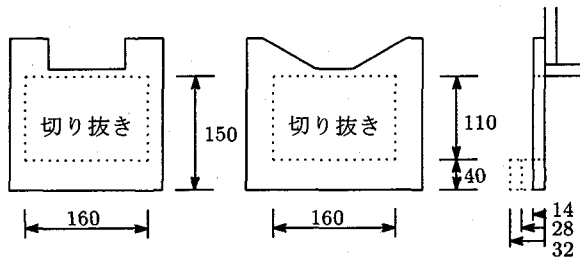
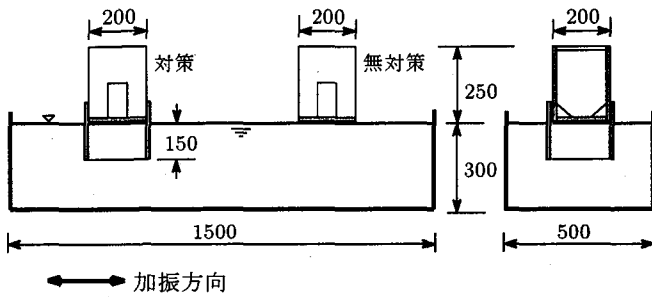


図12 改良模型による沈下量比較実験装置 (mm)

3. 対策工の改良

3.1 対策上の注目点

これまでの実験及び考察から、壁長を増加させることが低減効果を増すために最も有効であることがわかるが、実地盤では液状化層の深さが大きいので、それに対応するだけの長さとするのはコスト高を招くので、本研究の趣旨にそぐわない。また文献3)に習い、液状化しにくい領域を地盤下方まで及ぼすために、壁厚を変えずに壁形状の簡単な最適化計算を行ったところ、注目点の設置時応力の上昇は数%と少なく、現形態では実用に足りうるものとはならなかった。そこで、液状化直後の急速な沈下を抑えることに注目し、以下に示すような改良を行った。

- 壁先端の厚さを壁の外側に増やし、沈下時の受圧面積の増大による沈下抵抗の増加を期待する。また、壁底辺の面積が増加することで、支持力復帰層に到達したときに模型重量が分散し、側方流動しにくい領域の破壊が少なくなって、より早く沈下が終了することも期待できる。

- 対策模型での地盤の流動(図7-(b))で見たように、壁外面に作用する沈下抑制力を増加させることを試みる。そのために、グラベルで壁面を囲み、グラベルドレーンによる周囲地盤の液状化防止効果により、壁からの摩擦力を

周囲地盤に分散させる。その際に、壁部分を切り抜き、切り抜いた部分にもグラベルを投入すれば、グラベルの剛性を利用して壁の代用となるものと考えられる。切り抜き形状は単純に4角形とし、その長さを決定するため、図11-(a)のように切り抜いた実験を行ったところ、同図(b)のような結果が得られた。30cm 全部を切り抜いた場合以外は、低減率の低下は比較的小さく、25cm まで切り抜いた結果は約10%におさまっている。また、切り抜き部内の中央部では砂の出入りがほとんどなかったの、切り抜きによる壁内外の相互作用は切り抜き部内の上方一部面積に限られるようである。よって、壁全長を切り取らない範囲でなるべく多く切り抜くこととした。

3.2 実験の概要

様々な対策に対応するため、砂箱及び模型の大きさを縮小して基礎底板を200mm×200mmとし、模型総重量は単位面積あたりの重量を等しくして9.3kgfとした。使用したグラベルは最大粒径10mmの碎石7号で、透水係数は2.9cm/s、比重2.67である。砂(珪砂5号)の透水係数は0.14cm/sで、比重2.65である。装置の寸法、及びグラベルの設置位置を図12に示す。

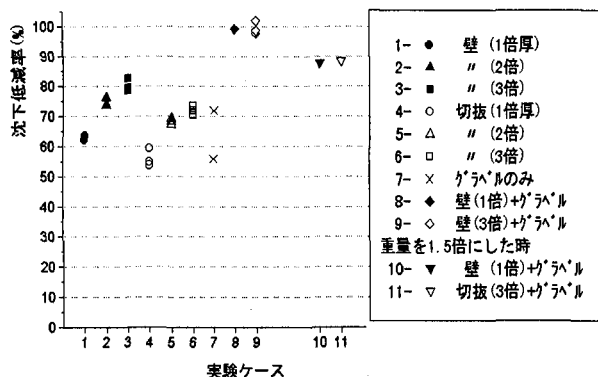


図13 改良壁の沈下低減効果

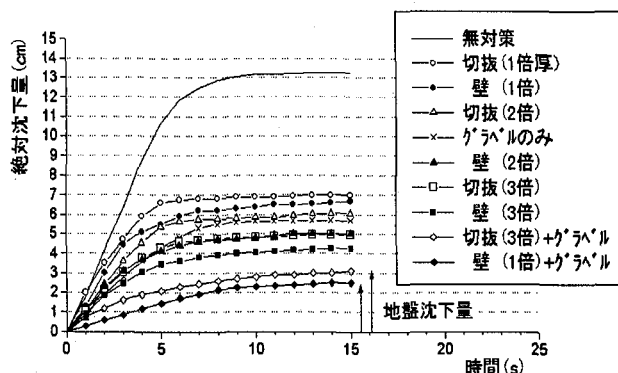


図14 改良壁での沈下履歴

行った実験は、切り抜きの有無、壁先端厚の変化、グラベルドレーンを行うか否か、を組み合わせる9ケースと、重量を増したときの2ケースである。グラベルを用いた場合のみに対し、水圧計をグラベル外面から水平方向に5, 10cm、鉛直方向には切り抜き形のほぼ底辺の位置である地表面より10cmに設置した。また本実験では、壁先端厚を3倍にしたことによる体積の増加は $1,147\text{cm}^3$ で、切り抜きによる体積の減少は 986cm^3 でありほぼ等しい。従って使用したグラベルの体積もほぼ同等となる。

3.3 実験結果及び考察

(1) 沈下に関して

改良壁による沈下低減率の結果を図13に、各ケースにおける沈下履歴の一例を図14に示す。図中の()内は通常の壁先端厚に対して、その厚さを増した割合を示す。図13において、壁先端厚が通常の場合と3倍厚での切り抜きの有無による差は、どちらもほぼ8%であり、切り抜き長さ決定のための予備実験での10%よりも減少しているが、層厚を小さくした分の沈下持続時間の減少によるものである。

切り抜きでは壁先端厚を2倍にしたところで10%以上の効果が上がったが、3倍にしての低減率の上昇は僅少であった。基礎底板直下を覆うようにしたグラベルのみでは、2回の実験のうち低減率の高い方ではグラベルの乱れは見られなかったが、低い方では基礎底板直下にグラベルが散乱していたので、グラベルのみではその効果が不安定になることがわかる。壁にはグラベルドレーンの補強効果があると思われる。

低減率が100%近辺の値となった(地盤内に沈下せず)のが、壁とグラベルを併用した場合である。ケース9で100%を越す値があるのは、模型及びグラベルが地盤に対して設置時よりも数mm上昇したためである。なお、グラベルと壁を併用した場合は、地盤に対する模型の沈下量はほぼ0であるとともに、降下後もグラベル地表面は砂で覆われなかったため、併用したケースでの最終沈下量はそのまま地盤の沈下量を示している。地盤の沈下履歴(図14)に関しては、次に述べるように沈下中の周囲地盤表面

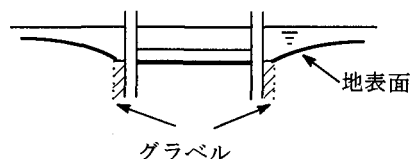


図15 グラベルを用いたときの、初期沈下中の地表面形状(壁(1倍)+グラベル)

形状の問題があるため、測定することが困難であった。

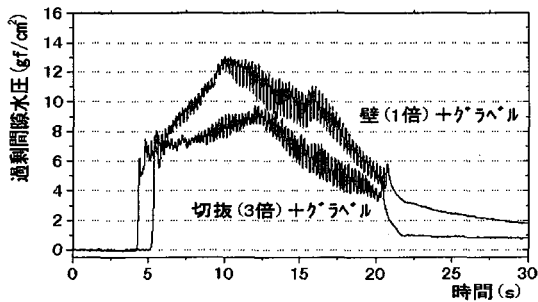
通常、地表面の周囲地盤は、加振開始後すぐに基礎底板上部に流れ込んでくるが、グラベルを使用した時は、沈下速度が低下するまで図15に示すような地表面形状で沈下して行き、沈下速度が低下したところに、遠方の表面地盤が模型近傍に流動してきてグラベル表面を覆う。従って、グラベルドレーンの過剰間隙水圧の消散効果により、ドレーン周辺の地盤に有効応力が存在して流動しにくくなっていったものと考えられる。

(2) 過剰間隙水圧に関して

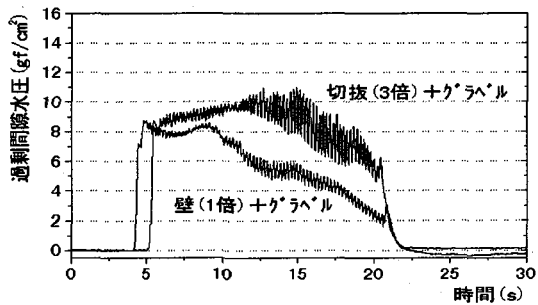
図16-(a), (b)はグラベルと壁を併用したときの過剰間隙水圧の変動である。同図の有効上載圧に関しては、壁を切り抜いたために2次元解析が行えず、グラベルのせん断強度を決定して3次元解析を行うだけの時間的ゆとりがなかったため、有効上載圧を近似できず過剰間隙水圧比を求めることができなかった。ちなみに飽和砂地盤のみでの水圧計設置位置の有効上載圧は $7.6 \sim 9.5\text{gf/cm}^2$ と計算される。

図16-(a)の、グラベルから水平5cm位置でのピークは、切り抜きでは 9gf/cm^2 となっているが、通常壁では 13gf/cm^2 にまで達している。この理由は、切り抜き壁では、投入したグラベルは壁先端の厚くなっている部分に載っているから、模型とグラベル重量の多くが壁先端下へ伝達されるのに対し、通常壁ではグラベルは地盤に載っているので、模型重量の一部が壁面からグラベルを通して周辺地盤にせん断力として伝達され、周辺地盤の有効応力を増加させているためであろう。

5cmの位置では通常壁の方が過剰水圧の上昇が抑えら



(a) グラベルから 5cm 位置



(b) グラベルから 10cm 位置

図16 グラベルと壁を併用時の過剰間隙水圧

れており、また 10cm の位置でも通常壁の方が過剰間隙水圧の消散が早く発生している。これは、通常壁ではグラベルドレーンの対象が壁の外側のみである一方、切り抜き壁では壁の外と内の両側であるためであろう。グラベルドレーンの効果は壁下部にも及ぶであろうから、過剰間隙水圧のみで判断する限り通常壁の方が有利なようであるが、切り抜き壁では、グラベルが壁先端に載ることによって、壁直下の液状化しにくい領域が通常壁に比較して多く存在していると思われるので、それらの効果がどの程度のものかについての解明が必要である。

(3) グラベルと壁を併用したときの効果

グラベルを併用することにより、周囲地盤の有効応力が維持され、周囲地盤からグラベル面に沈下を抑制する力が作用していることが推察された。模型とグラベルとのずれは観測されなかったため、壁とグラベル間とのせん断力により、周囲地盤からの沈下抑制力が模型に伝達されている。この力の限界を超えない模型重量であるならば、沈下低減率がほぼ 100%となることが期待できる。しかし、模型重量は周囲地盤を通して、最終的には砂箱側壁に伝達されている可能性があるため、実地盤において同様の結果となることは保証されない。

4. まとめ

地中壁を用いた時の、地盤液状化時の沈下低減効果とそのメカニズムについて考察し、その結果に基づき次の二つの改良を行った。

- 壁先端の断面積を増加させて、沈下時の抵抗を増す。同時に、沈下速度低下時に、支持力復帰層に到達した模型直

下の側方流動しにくい層に加わる模型重量が分散することにより、同層の破壊が少なくなることを期待する。

- 壁周囲にグラベルを設置して、グラベルドレーンによる過剰間隙水圧消散効果により周囲地盤の液状化を防ぎ、壁への摩擦力を周囲地盤に分散させる。

どちらも単独でそれなりの効果があったが、壁とドレーンを併用することにより最大の効果が認められた。

グラベルドレーンの効果に関しては、過剰間隙水圧の観測と、沈下低減率 100%の支持力を超えたときの沈下中の地盤の形状から、ドレーンによる周囲地盤の液状化防止効果が、周囲地盤の流動を押さえて沈下を抑制する力を模型に作用させることで、沈下が抑制されるものと推察された。

グラベル部の底辺を直接地盤に接触させるか、壁先端の増加厚部分に載せるかにより、設置時の模型下部及び周囲地盤の有効応力が変わってくるので、それが沈下低減にどのような効果を及ぼしているのか、より詳細な検討が必要となる。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、佐藤工業・吉川賢一氏、金沢大学土木建設工学科 4 年・和田智幸君に実験協力を、金沢大学土木建設工学科・宮島昌克助教授に御教示をいただいたことをここに記し、心から感謝する次第です。

6. 参考文献

- 1) 吉見吉昭：砂地盤の液状化，技報堂，pp.141 ~ 162, 1991.5.
- 2) 安田進：液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，pp.138 ~ 153, 1988.5.
- 3) 安田進，伯野元彦，小林正二郎，永瀬秀生，吉田剛：こま型基礎による液状化対策の効果の検討，地盤の液状化対策に関するシンポジウム発表論文集，pp.285 ~ 290, 1991.
- 4) 小林義和，東畑郁生，ALEXIS A.ACACIO，野村卓史：地盤の液状化による基礎の沈下解析，地震時の地盤、土構造物の流動性と永久変形に関するシンポジウム発表論文集，pp.385 ~ 388, 1998.5.
- 5) 大林淳，佐々木康，重山忠成，小方義昭：液状化地盤上の模型盛土の沈下挙動と過剰間隙水圧消散プロセスについて，地震時の地盤、土構造物の流動性と永久変形に関するシンポジウム発表論文集，pp.389 ~ 391, 1998.5.
- 6) 北田幸彦，吉川賢一，梶川隆則，北浦勝，宮島昌克：地盤液状化による独立模型の沈下挙動，第 10 回日本地震工学シンポジウム，1998.11.
- 7) 川本眺万，林正夫：地盤工学における有限要素解析，培風館，pp.112 ~ 115, 1978.4.

(1998 年 月 日受付)