

(72) 碎石ドレーン工法の最適施工範囲 に関する実験的考察

福井工業高等専門学校 吉田雅徳
金沢大学工学部 北浦 勝
金沢大学工学部 宮島昌克
NKK 大石 博

1. はじめに

過去の震害資料から明らかなように、地震時の液状化現象は地盤の沈下や永久変形、動的挙動など様々な地盤変状を引き起こし、構造物に多大な被害をもたらす。このような構造物の被害軽減のための地盤改良による液状化対策工法としては、現在に至るまでその主流である締固め工法をはじめ、最近施工例も増加しつつある無振動、無騒音工法の碎石ドレーン工法などこれまで様々なものが提案され、実際にその有効性が確認された例もいくつかある。しかし、対策工法を設計する上での施工範囲決定の手法については未だ確立されていないのが現状である。例えばライフラインなどの線状構造物に対策を講じる場合、主管だけに対策を施してもそこから延びる改良地盤外の枝管が、地盤沈下などの地盤変状や管の浮上により生じる改良地盤との境界部での相対変位によって破壊される可能性もあり、施工範囲の決定については十分な注意を払う必要がある。また、このことは施工費用とも関連することであり非常に重要な問題であるといえる。締固め工法の施工範囲については土田¹⁾によって先駆的な研究が行われているが、本研究では碎石ドレーン工法の最適施工範囲決定のための基礎資料を得るため、締固め工法を比較対象とした振動模型実験を行って非改良地盤すなわち改良地盤周辺部における地震時地盤沈下特性について検討を行った。

2. 実験概要

図1に実験装置の概要を示す。鋼製の砂箱に非改良地盤（緩詰め砂層部分）と改良地盤（実験Ⅰでは碎石部分、実験Ⅱでは締固め砂層部分）から成る模型地盤を作成し、振動台上に設置した。緩詰め砂層部分は、粒径が比較的均一であり液状化しやすい範囲にある手取川の川砂を、冠水させた砂箱に水中落下させて作成した。

表1 砂および碎石の物理定数

砂		碎石	
比重	2.67	比重	2.69
均等係数	2.96	最大粒径(mm)	25
最大間隙比	1.030	透水係数(cm/sec)	8.24
最小間隙比	0.721		
50%粒径(mm)	0.2		
透水係数(cm/sec)	0.0192		

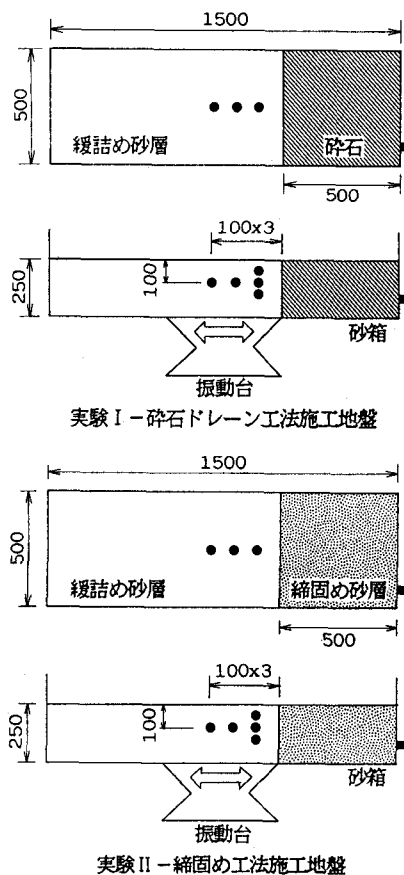


図1 実験装置の概要

碎石部分は、コンクリート骨材用の5号碎石を密に詰めて作成した。締固め砂層部分は、あらかじめ水中落下法により作成した緩詰め砂層を 300gal、5Hzの調和波で 3分間加振する振動締固め法により作成した。なお、改良地盤と非改良地盤の境界部は砂を通さないナイロンメッシュで仕切られており、両地盤間の砂の移動を防いでいる。入力条件は、5秒間で最大加速度に達するような5Hzの調和波による30秒間加振であり、その最大加速度を50～100galの範囲で種々変化させた実験を行った。水圧計は、水平方向に改良地盤との境界から 100mm、200mm、300mm、また鉛直方向に地表面から50mm、100mm、150mmの位置の非改良地盤に設置した。地盤沈下量は、水平方向に設置した水圧計の位置で計測した。なお、実験に用いた砂および碎石の物理定数は表1に示す通りであり、緩詰め砂層の含水比は約30%、単位体積重量は 1.84gf/cm^3 である。

3. 結果及び考察

1) 過剰間隙水圧の経時変化について

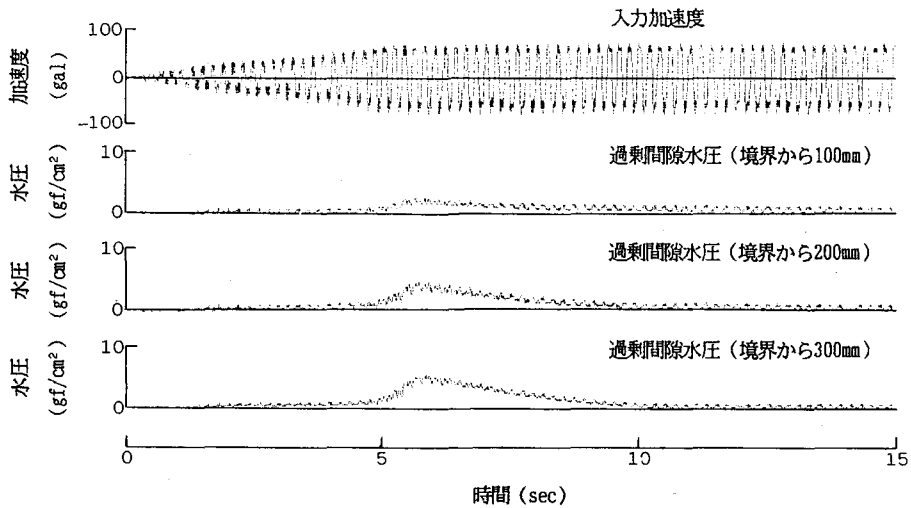


図2 入力加速度および過剰間隙水圧の時刻歴波形（碎石ドレーン工法）

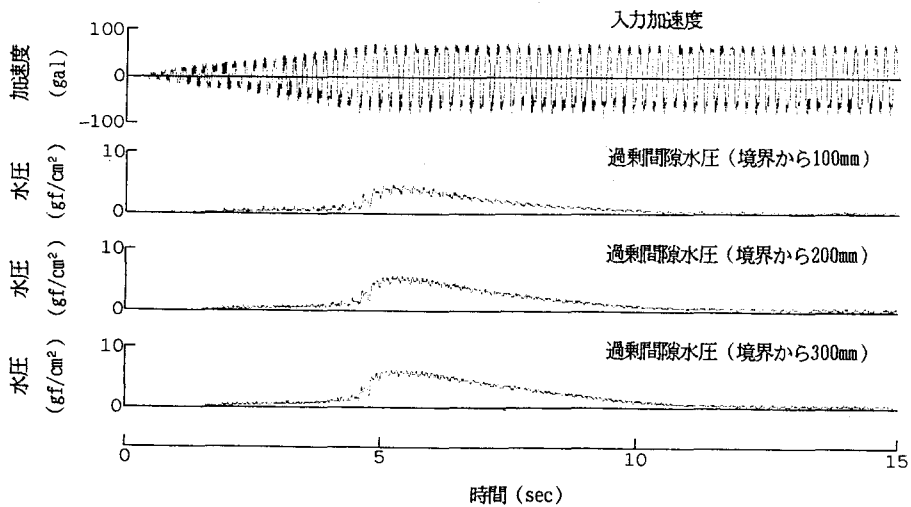


図3 入力加速度および過剰間隙水圧の時刻歴波形（締固め工法）

図2、3は実験Ⅰ（砕石ドレーン工法）、実験Ⅱ（締固め工法）における入力加速度と境界から100mm、200mm、300mmの位置（地表面から100mmの深さ）での過剰間隙水圧の時刻歴変化の一例を示したものである。なお、同図は加振開始から15秒後までの波形を示したものであり、入力加速度は共に約75galである。両工法の過剰間隙水圧の発生から消散までの様子を見ると、締固め工法では加振開始から約4.5秒後に急激に上昇し始め、すぐに最大値に達した後緩やかに消散しているのに対し、砕石ドレーン工法では約5秒後に締固め工法よりも緩やかなカーブを描いて上昇し、最大値に達した後すぐに消散し始めている。また、締固め工法では各境界からの距離の位置における過剰間隙水圧の経時変化に顕著な差異が見られないのに対し、砕石ドレーン工法では砕石ドレーンに近いほどその最大値、継続時間が大きく低減されている。このことは、砕石ドレーン工法の効果が過剰間隙水圧の上昇速度を低下させるとともに、その消散速度を高めることを示している。

2) 最大過剰間隙水圧比について

砕石ドレーン工法の設計においては発生する過剰間隙水圧をどの程度まで抑えるか、つまり最大過剰間隙水圧比の設計値が問題となる。そこで、両工法施工地盤の非改良地盤での最大過剰間隙水圧比を、入力加速度、境界からの距離、地表面からの距離をパラメータにとって検討した。図4は各入力に対する境界から100mmの位置での最大過剰間隙水圧比を表わしたものである。入力加速度が約70galを超えると、すなわち地盤が液状化するための入力加速度の下限値を超えるあたりから、両工法の同一入力に対する最大過剰間隙水圧比の値に大きな差が生じている。特に入力加速度約100galでは、締固め工法においては非改良地盤が一樣に完全液状化しているのに対し、砕石ドレーン工法では地盤底部において最大過剰間隙水圧比が大きく低下している。これらのことは、砕石ドレーン工法を施工することにより非改良地盤の液状化抵抗が増加することを示している。図5は入力加速度約75galにおける各境界からの距離の位置での最大過剰間隙水圧比を表わしたものである。同図によれば、締固め工法では境界からの距離と最大過剰間隙水圧比との間に相関は見られず、非改良地盤においては境界からの距離に関わらず地盤内でほぼ同様な過剰間隙水圧の上昇傾向があるのに対し、砕石ドレーン工法では境界に近いほど最大過剰間隙水圧比が小さくなる傾向にあり、砕石ドレーンによる透水性の改善により境界付近での液状化抵抗の増加が著しいことがわかる。

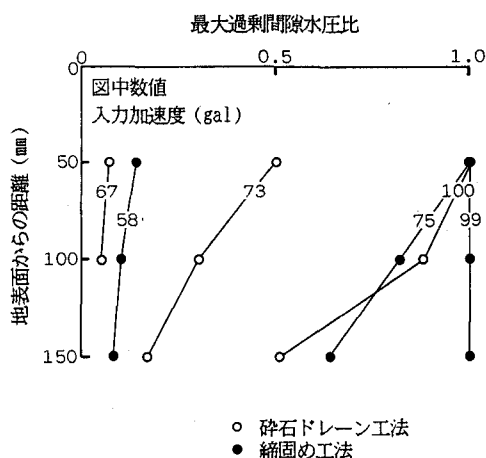


図4 入力加速度と最大過剰間隙水圧比の関係

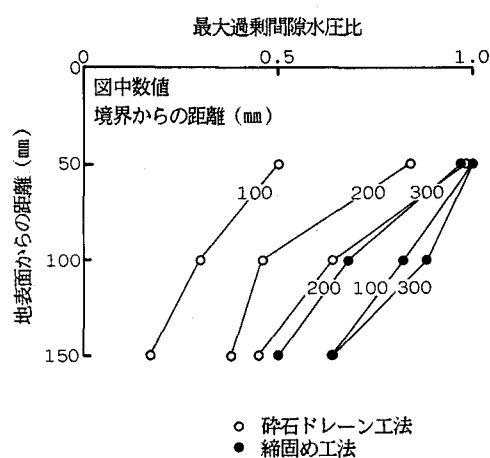


図5 境界からの距離と最大過剰間隙水圧比の関係

3) 地表面沈下率について

地表面沈下率とは地表面における沈下量を初期地盤厚さで除したものの百分率のことである。図6は入力加速度約75galにおける数種の実験結果を、境界からの距離と地表面沈下率との関係でプロットしたものである。同図によれば、境界からの距離が100mm、200mmの位置における砕石ドレーン工法の地表面沈下率が、締固め工法に比べて小さくなっている。境界からの距離300mmの位置において両工法に差がないことから、これは砕石ドレーン工法の影響が境界からの距離が200mmの位置まで及んでいることを示している。

4) 最大過剰間隙水圧比と地表面沈下率の関係について

図7は境界からの距離が100mm、200mm、300mmの位置での最大過剰間隙水圧比とそれぞれの位置における地表面沈下率との関係をプロットしたものである。なお、これは入力加速度を50～100galの範囲内で種々変化させた数種の実験結果をまとめたものである。同図によれば、砕石ドレーン工法と締固め工法とに顕著な差は見られないが、最大過剰間隙水圧比の値が0.5を越えるあたりからそれぞれの地表面沈下率が大きくなっている。これは非改良地盤すなわち改良地盤周辺部での沈下特性が、工法の種類に関わらず最大過剰間隙水圧比と相関があることを示している。

4. おわりに

本研究では砕石ドレーン工法の最適施工範囲について、改良地盤周辺部の地震時沈下特性という観点から検討を行った。砕石ドレーン工法の実験結果を同一入力に対する締固め工法の結果と比較すると、透水性の改善によって砕石ドレーン周辺部の液状化抵抗が増加し、過剰間隙水圧の上昇速度の低下とその消散速度の増加が認められ、最大過剰間隙水圧比が低下するとともに、地盤沈下が低減された。また、その傾向は砕石ドレーンに近いほど顕著である。すなわち、砕石ドレーン工法を施工した場合、締固め工法に比べて対策範囲外の地盤に与える液状化抑制効果が大きいと言える。このことはある構造物に対策を施す場合、砕石ドレーン工法の改良範囲が締固め工法よりも小さくても良いことを示唆しており、ライフラインなど広範囲にわたる構造物に対する対策に適していると思われる。

最後に、本研究の実験の遂行にあたりご協力賜った元金沢大学学部学生久保雅則氏（現 株式会社浅沼組）、また元福井工業高等専門学校学生今村昭仁氏（現 栗鉄工事株式会社）、同海崎博行氏（現 東京コンサルティング 株式会社）の諸氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土田 肇・井合進・倉田栄一：液状化対策としての締め固めの施工範囲について，第14回地震工学研究発表会講演概要，pp.9～12，1976.

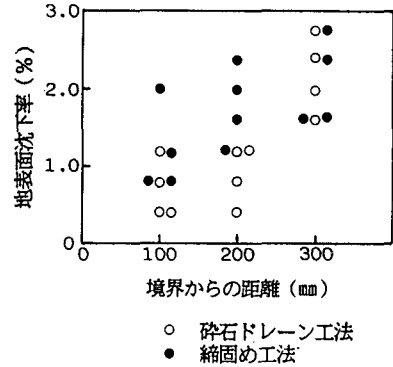


図6 境界からの距離と地表面沈下率の関係

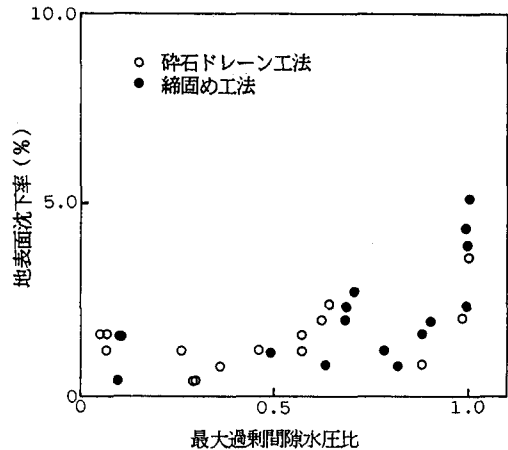


図7 最大過剰間隙水圧比と地表面沈下率の関係