

発破を用いた締固め工法において生じる過剰間隙水圧の推定

佐藤工業（株） 正会員 辻野 修一 前田 幸男
 佐藤工業（株） 正会員 永尾 浩一 中原 哲朗
 関東学院大学 正会員 規矩 大義

1. はじめに

発破を用いた締固め工法は、発破の衝撃力により人工的に地盤を液状化させ、液状化後の再堆積により地盤を締固めるものである。これまでの実地盤での測定結果より、液状化を生じさせる過剰間隙水圧は、発破による衝撃的な水圧が発生した後、残留水圧として上昇しこの残留水圧は衝撃水圧の大きさや段発回数に影響を受けることが明らかとなった¹⁾。そこで、過剰間隙水圧の発生量に影響を及ぼす地盤条件や火薬量、発破孔間隔、発破段数などの関係について考察した結果、発破により生じる過剰間隙水圧と衝撃水圧の累積量には相関性があり、この関係を用いて任意地点での過剰間隙水圧の発生量を予測できることがわかった。

2. 発破時に生じる衝撃水圧と過剰間隙水圧

2.1 衝撃水圧の発生量

段発時に生じる衝撃水圧と過剰間隙水圧の発生状況として、秒時差 0.3 秒、12 段発破（6 孔×1 孔上下 2 段装薬）の事例を図-1 に示す。水圧は段発の秒時差（発破の時間差）毎に高い周波数の非常に大きな衝撃水圧が発生し（上図）、過剰間隙水圧は、この衝撃水圧毎に残留・蓄積していく（下図：縦軸拡大）。以後、発破の瞬間に生じるピーク水圧を衝撃水圧 U_d （上図）、発破（段発）毎に蓄積し液状化を生じさせる水圧を過剰間隙水圧 U_r と呼ぶこととする。

図-2 に衝撃水圧の距離減衰を示す。発破箇所からの距離とは、各装薬箇所と水圧測定位置間の距離で、衝撃水圧 U_d はその装薬箇所が発破した時のピーク水圧を示す。 U_d は距離とともに減衰し、概ね 20m の離隔で 1000kPa 程度以下となる。衝撃水圧は火薬量が多い程大きくなるが、距離の増加に伴う減少傾向は同様であることがわかる。また、 U_d は測定深度が浅いケースほど減衰し易く、上載圧（土被り圧）の影響を受けるが、これまで測定した主に砂質土層の事例では、地盤条件の影響はあまり認められなかった¹⁾。以上の結果より、任意の地点で生じる衝撃水圧 U_d は、その地点での有効上載圧 ν' 、火薬量 W 、発破箇所までの距離 D に影響を受け、図-3 に示すように U_d を有効上載圧で除した衝撃水圧比 U_d / ν' で整理すると、次式で表される。

$$U_d / \nu' = C (D / W^{1/3})^n \quad (1)$$

U_d : 衝撃水圧 (kPa), ν' : 有効上載圧 (土被り圧) (kPa)

C, n : 実験結果より求まる係数 (図-3 の累乗近似の係数)

D : 発破箇所からの距離 (m), W : 1 段当りの火薬量 (kg)

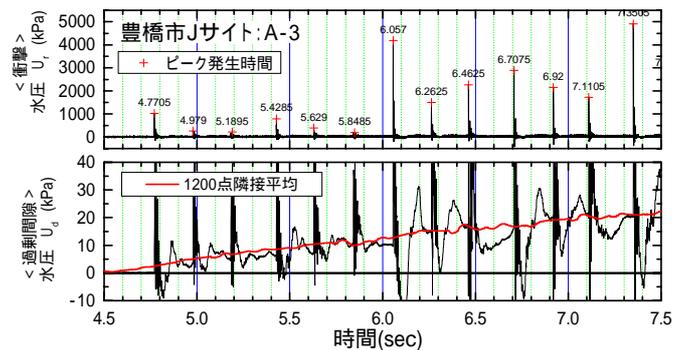


図-1 発破時の水圧発生状況の例

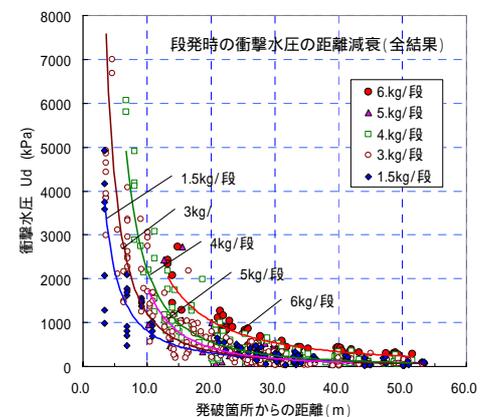


図-2 衝撃水圧の距離減衰

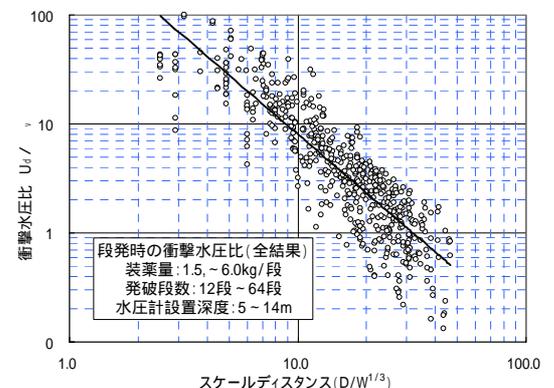


図-3 スケール距離～衝撃水圧比関係

キーワード：締固め、発破、衝撃の荷重、過剰間隙水圧

連絡先：〒243 - 0211 神奈川県厚木市三田 47-3 TEL：046-241-2171 FAX：046-241-2176

D/W^{1/3}：スケールディスタンス（相似距離）

一般に発破などの爆発に伴う音や振動問題を取扱う場合，爆源からの距離Dと爆薬の量Wが関与するため，これらはその相似性を考慮し，スケールディスタンスと呼ばれる距離Dを火薬量Wの平方根W^{1/2}あるいは立方根W^{1/3}で割った値で整理される。

2.2 過剰間隙水圧の発生過程

過剰間隙水圧の発生は，図-1および図-4の模式図に示すように，まず発破直後に大きな衝撃水圧 U_d（圧縮波）が到達し，大きなピークの U_d が生じ，この U_d の大きさに応じて残留分の U_r が上昇する。U_d は発破の強さ（=外力の大きさ）であり，地盤中の1点から発生する疎密波をせん断力と考えると，ピーク発生後に小さく変動し一定値となる U_r はせん断振幅により生じる過剰間隙水圧とみなせ，発破の強さである U_d が大きいと U_r も増加することが説明できる。

図-5に段発で発生する衝撃水圧の累積値（以下累積衝撃水圧 U_d と呼ぶ）と過剰間隙水圧 U_r の上昇過程を段発数（発破回数）に対して示す。U_d は，衝撃水圧をせん断力と考え，段発毎に異なる振幅のせん断力，段発回数を評価するため，累積損傷度の考え方²⁾に基づいて整理したもので，U_r の発生量は，その時点までに受けたせん断力（U_d 振幅）の累積値により定まると考えている。なお，U_r が段発の後半部で90kPa程度と増加しないのは地盤がほぼ液状化状態に達したためである。

つぎに累積衝撃水圧比 U_d/v と過剰間隙水圧比 U_r/v 関係を図-6に示す。同図の傾き C_{Na} は過剰間隙水圧の発生のし易さを示すもので，図-7に示すように補正 Na が小さく液状化し易い地盤条件ほど，C_{Na} が大きくなり過剰間隙水圧が生じ易くなる。補正 Na とは，道路橋示方書の液状化判定³⁾で用いられる上載圧と細粒分含有率 FC の影響を考慮した補正 N 値であり，図-6の各実験ケースの地盤条件より求めたものである。

3. おわりに

発破時の衝撃水圧は発破仕様（薬量，距離），上載圧から推定でき，過剰間隙水圧の発生量と衝撃水圧の累積値とは相関性があることが分かった。この衝撃水圧の累積値に対する過剰間隙水圧の発生率を表す係数 C_{Na} は，地盤条件（N 値，上載圧，FC）から算定される補正 N_a によって表され，この関係から，任意地点での過剰間隙水圧の発生量が予測できた。さらに，過剰間隙水圧の発生量を予測することによって，沈下量や改良効果が推定できると考えられる。

参考文献

- 1) 前田ほか：発破を用いた締固め工法，地盤工学会中部支部第14回調査・設計・施工技術報告会，2005.6（投稿中）
- 2) 吉見吉昭：砂地盤の液状化，技報堂出版，pp.51-56，1980.4
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書 耐震設計編，平成14年3月，pp.120-p123

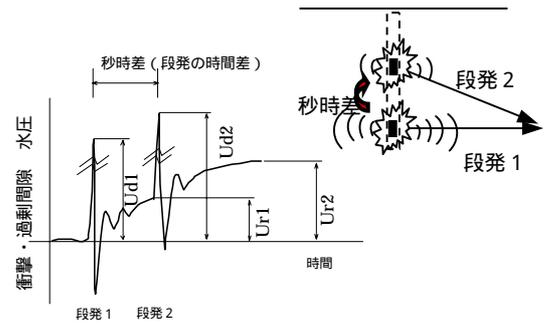


図-4 衝撃・過剰間隙水圧の発生過程

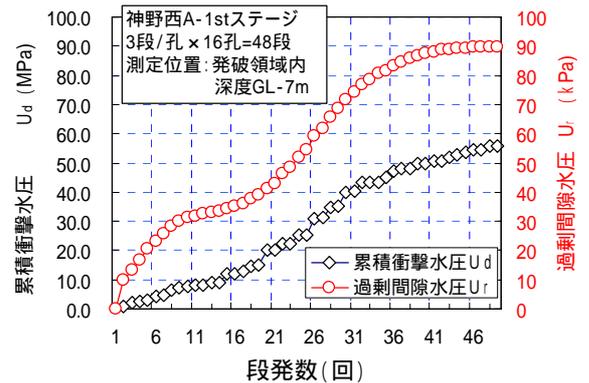


図-5 段発時の水圧発生状況
(図-6中の神野1ステージのケース)

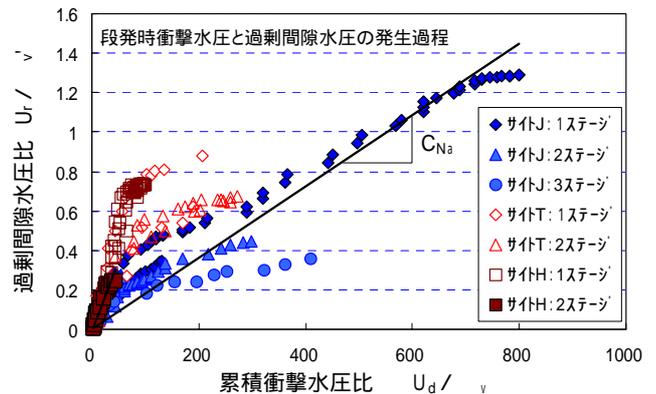


図-6 累積衝撃水圧比～過剰間隙水圧比関係

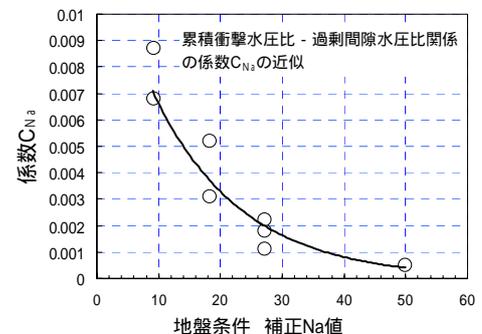


図-7 U_r/v 推定に用いる
係数 C_{Na} と補正 N_a 値の関係