

(35) 杭頭の動的破碎制御に関するモデル実験

MODEL EXPERIMENTS ON DYNAMIC FRACTURE CONTROL OF PILE HEAD

中村裕一*, 加藤政利**, 山浦一郎***, 斉藤義待****, 小川直基*****
 Yuichi Nakamura, Masatoshi Kato, Ichiro Yamaura, Yoshihito Saito and Naoki Ogawa

*工博, 八代高専教授, 土木建築工学科 (〒866-8501 八代市平山新町 2627)

**工博, 五洋建設(株)課長, 建築エンジニアリング部 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)

*** 五洋建設(株)部長, 建築エンジニアリング部 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)

****八代高専専攻科生, 環境建設工学専攻 (〒866-8501 八代市平山新町 2627)

*****JR 西日本(株), 広島支社 (〒732-0057 広島市東区二葉の里 3-821)

キーワード: 杭頭処理, 装薬ホルダー, 制御発破
 (Pile head removal, Charge holder, Controlled blasting)

1. まえがき

近年、地上構造物の基礎工事では、市街地での騒音規制等により、現場打ち杭が主流となる中で、これまでに、杭頭処理のための種々の工法が開発されている^{1,2)}。杭頭処理の一般的な方法は、ブレーカーによる解体であり、簡便な方法であるが、騒音・振動の問題や、作業員にとって過酷な作業環境となる問題がある。解体に静的破碎剤を用いて、杭頭露出後に、削孔あるいは事前に設置したシース管等による空洞部に破碎剤を充填した後に破壊する方法もある。最近では事前に設置した破碎剤をコンクリートの硬化過程に合わせてコントロールする方法があり、掘削時には既に解体されているという方式もある。本方式の問題点は前者の場合、削孔が必要であること、事前設置空洞の場合には、その位置ずれ等によりクラックラインが制御しづらいこと、後者もクラックラインの制御結果が掘削後まで分からない点が上げられる。また、杭径が1m~2.5m程度の大口徑杭では杭頭部のコンクリート処理量が多大であり、上記方法をとった場合は、品質確保の面に加え、余盛り部分の解体に要する手間・材料および解体後の処理量が膨大となる懸念がある。したがって、手間及び処理に要する材料が最小となり、解体後の処理が容易に出来る新しい杭頭処理のための工法が求められている。

本研究は、杭頭処理を迅速に行うために、少量の火薬類を使用した動的破碎制御工法の実用化を目指したものである。この動的破碎制御工法とは、装薬ホルダーを使用して鉛直方向のクラックを制御すると同時に、杭頭処理部分と杭健全部との境界面に沿う水平方向のクラック制御を実現するための工法であり、その有効性を、コン

クリート柱状供試体と装薬に瞬発電気雷管を使用したモデル実験によって検証した。

2. 実験装置及び実験方法

実験に使用した装薬ホルダーの形状を、図-1、2に示す。図-1は、先に考案した装薬の爆発によって生じる衝撃波の集中作用を作り出すことを意図したくさび形空洞を有する鋼製の装薬ホルダーである³⁾。装薬ホルダーは、図に示す形状の二つの部品を突合せて構成され、同一直径上に適当な角度を有するくさび形空洞(空気のギャップ)を形成する。デカップリング状態で装てんされた爆薬の起爆で生じた爆発衝撃波は、くさび形空洞内を干渉しながら伝ばし、衝撃波の集中作用を作り出す。これによって、装薬孔の孔壁面に作用する爆力の作用方向と作用時間の制御が可能となり、くさび形空洞先端位置の装薬孔壁面上に引張応力場が作り出され、その位置を予定破断面方向に一致させることによって、亀裂の進展方向

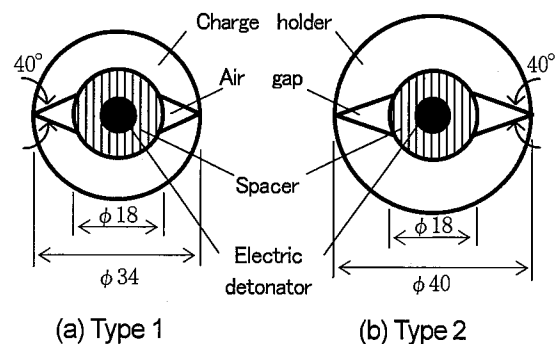


図-1 くさび形空洞を有する装薬ホルダーの形状

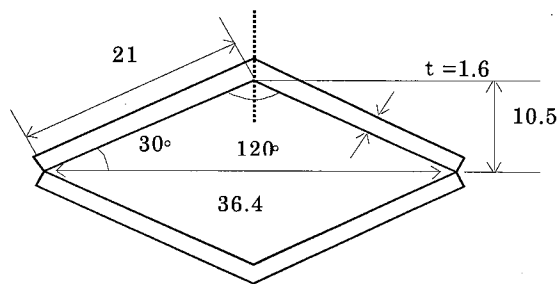


図-2 簡易装薬ホルダーの形状 (Type A)

を制御することができる。亀裂がくさび形空洞先端に生じると、引き続いてホルダー内部の爆発ガスが作用して、亀裂の進展を促進する。しかしながら、この装薬ホルダーの断面形状は複雑であり、丸鋼の機械加工に手間を必要とするため、現場適用性で問題がある。本研究では、新たに加工の容易な簡易装薬ホルダーを作製した。この簡易装薬ホルダーは、薄い亜鉛メッキ鋼板を曲げ加工して、2枚突合せて、くさび形空洞を形成する。図-2は、実験に使用した簡易装薬ホルダーの一例 (Type A) で、突合せ部 60° の場合の断面形状を示す。実験では、ホルダーの板厚などの異なる3種類について、その破壊効果を調べた。いずれのホルダーの場合にも、突合せ部とホルダー底部は、コンクリート打設時に、ホルダー内部への水の浸入を防ぐため、ビニールテープ等でシーリングされている。コンクリート柱状供試体の形状は、直径200mm、高さ400mmである。水セメント比65%で配合され、材齢28日での圧縮強度と引張強度が、各々25MPa、2.2MPa程度である。図-3に、コンクリート柱状供試体の上部に、装薬ホルダーを装着した状態を示す。予定破断面の位置に、水平仕切り板を設置した。水平仕切り板は外径160mm、内径100mmで、厚さ1.5mmの亜鉛メッキ鋼板である。また、実際の施工条件に対応させて、鉄筋かごを、コンクリート供試体作製時に組み込んだ。写真-1に、鉄筋かごと水平仕切り板の設置状態を示す。実際の施工では、仕切り板の中空部には、コンクリートを打設するためのトレミー管が通される。図-4に、本実験のブロック線図を示す。装薬には市販の地震探鉱用電気雷管(6号)を使用した。この電気雷管には添装薬として、PETN(0.4g)が使用されている。コンクリート供試体を、防爆容器内に配置し、2個のハロゲンランプの光を供試体にあてて、杭頭部に相当する供試体上部の破壊挙動を高速ビデオカメラにより撮影した。使用したビデオカメラはデジタルメモリー方式で、最高撮影速度は分割フレームで40500 f/sである。ビデオカメラの起動と電気雷管の起爆の同期は、起爆回路とパルス発生器を用いて行った。通常、電気雷管は、起爆遅れ(起爆電流を流してから、添装薬が爆発するまでの時間)があり、この実験条件下では、 $(130 \pm 20) \mu\text{s}$ 程度である。本モ

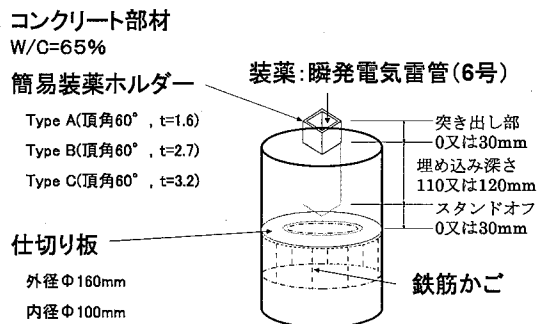


図-3 モデル供試体の概要

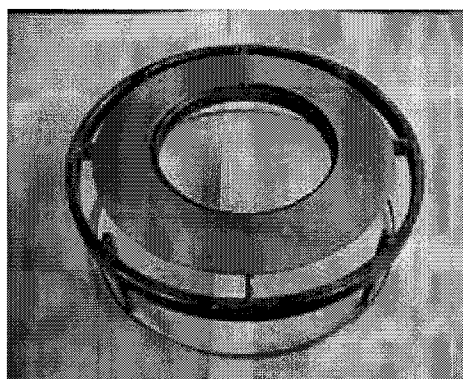


写真-1 鉄筋かごと仕切り板の組み合わせ

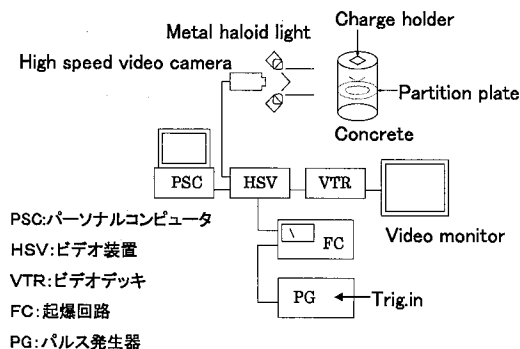


図-4 本実験のブロック線図

デル実験では、装薬ホルダーの形状や、埋め込み深さ、装薬ホルダー下端と水平仕切り板との鉛直方向の間隔(スタンドオフ)を設定し、これらの違いによる動的破壊制御に及ぼす効果について考察した。

3. 実験結果及び考察

3.1 くさび形空洞を有する装薬ホルダーの有効性

図-1のType2の装薬ホルダーを使用し、供試体上端から100mmの位置の予定破断面に水平仕切り板を設置(この場合のスタンドオフは30mm)して実験した場合の供試体破断面の状態を写真-2に示す。仕切り板右側

上部に、破碎域のコンクリートが少し残っているが、供試体上部の破碎が予定破断面にそって可能であることがわかる。水平仕切り板の効果は、爆源からの応力波や供試体上面からの亀裂が仕切り板によって遮断されることにある。

3.2 簡易装薬ホルダーの有効性

現場施工への適用性を考えて作製した図-2に示した簡易装薬ホルダーを使用してモデル実験を行った。ホルダーの埋め込み深さ 110mm、スタンドオフ 30mm の条件での仕切り板付近の破断状態の一例を、写真-3に示す。この実験では、仕切り板の縁切り効果を高めるために、1枚の仕切り板を4分割して、もう一枚の仕切り板の外縁に寄せて重ね、埋め込んでいるが、鉄筋かごは使用していない。実験結果より、スタンドオフがあるため、この場合にも仕切り板中央右側部分に、破碎域のコンクリートが少し残っている。これは、亀裂が供試体面から下部へ進展する際に、断面全体にわたって一様に開口しないためと考えられる。写真-3に対応した供試体上部の水平仕切り板が埋め込まれた位置付近での亀裂挙動を示すビデオ画像を、写真-4に示す。なお、実験では、供試体を横にした状態で起爆している。また、供試体の上部は、破壊時のコンクリート破砕片の飛散を抑制するため、ゴム板を巻きつけている。使用した地震探鉱用電気雷管の起爆遅れは、約 $130\mu\text{s}$ 程度であることから、その起爆時刻は、撮影速度 13500f/s ではビデオ画像 Frame No. 2 から 3 に対応する。このビデオ画像から、山形の板材を2つ組み合わせた簡易装薬ホルダーにおいても突合せ部での応力集中がおこり、そこから亀裂が発生し、その後、亀裂面に爆発ガスが入り込み、ガスの膨張により、更に、き裂進展が生じることを確認できる。また、仕切り板との組み合わせによって、杭頭処理部と健全部の境界となる予定破断面に沿って、亀裂進展が生じることはわかる。供試体上部からの縦割れの亀裂が、仕切り板位置(ビデオ画像ではマジックで記載された破線位置)に到達した部分に、破碎域のコンクリートが少し残っているが、これが、写真-3に示された仕切り板中央右側部分に残ったコンクリートに対応する。同様の実験を、ホルダーの材質、板厚の異なるタイプについても行ったが、効果に違いは見られなかった。簡易装薬ホルダーは従来の装薬ホルダーに比べて作製が容易である。このため、ホルダー突合せ部のくさびの角度や深さを人為的に容易に調整することで、亀裂進展制御効果をより大きくすることが期待できる。

ホルダーの埋め込み深さを変化させて、その効果を調べるために、長さ 150mm の簡易装薬ホルダーを使用して、埋め込み深さを 150mm、120mm の2つの条件で実験を行った。埋め込み深さ 120mm においては、供試体上部へ装薬ホルダーが突き出る形となるため、突き出し部に $\phi 7\text{mm}$ の穴を開け、 $\phi 6\text{mm}$ の丸鋼を、横方向に通し、タンピング材(ケミカルカッター)の噴出しを防止することを考えた。これにより、爆発エネルギーがホルダーから孔口上部へ噴き出しにくくなり、より多くのエネルギーが動的破碎作用へと

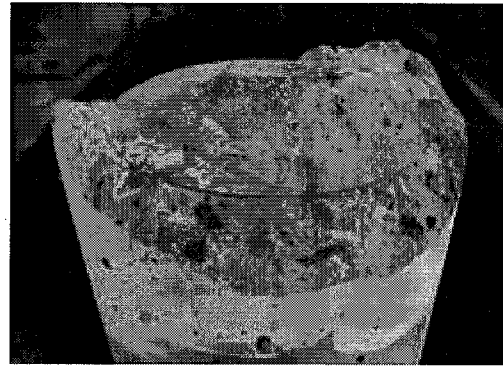
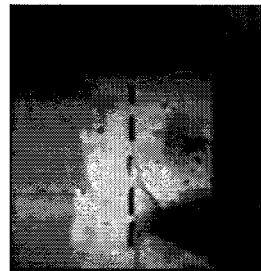


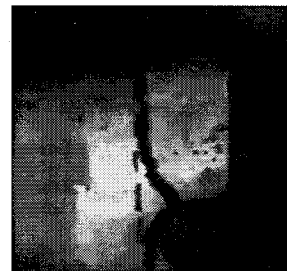
写真-2 くさび形空洞を有する装薬ホルダー (Type 2) を使用した場合の破断面形成状態 (スタンドオフは 30mm、仕切り板1枚を使用)



写真-3 簡易装薬ホルダー (Type A) を使用した場合の破断面形成状態 (スタンドオフは 30mm、仕切り板2枚を使用)



Frame No.25



Frame No.100

写真-4 写真-3に対応した柱状供試体上部の破壊挙動を示す高速度ビデオ画像 (撮影速度: 13500f/s)

寄与することが期待できる。写真-5に、埋め込み深さ 120mm (スタンドオフなし) の場合の、実験後の供試体の破断面の状態を示す。仕切り板付近の破碎域には、コンクリートが残っていない。

多くの実験では、ホルダーの突合せ角度 60° のものを使用した。突合せ角度 90° の簡易ホルダーによる亀裂進展制御効果を調べた。写真-6は、埋め込み深さ 110mm、(スタンドオフ 30mm) の場合の、実験後の破断面の状態を示す。結果として、突合せ角度 60° の場合と比べ、破碎後

の予定破断面中央部にかけて、コンクリート残部が多く残った。また、この場合の供試体上部の水平仕切り板が埋め込まれた位置付近での亀裂挙動を示すビデオ画像からは、供試体上面からの縦割れと仕切り板位置での予定破断にそう亀裂進展と爆発の噴出す挙動が確認された。

これらの実験に基づいて決定された最適な条件は、突合せ部の角度 60° のホルダーを、スタンドオフなしで埋め込み、タンピング材の噴出しを抑制するための横ピンを、供試体上面から突き出したホルダーに装着する場合である。この条件での実験後の供試体上部の破断状態を写真-7に示す。また、この場合のビデオ画像を写真-8に示す。これより、鉄筋かごの縁切り効果と、爆発ガスの亀裂面からの強い噴出しからタンピング効果の増大がわかる。鉄筋かごを設置することにより、外径160mmの仕切り板の外周部と供試体表面の間のコンクリートを水平方向に破断させることが出来る。鉄筋かごの周囲は少々欠落していたが、これは許容範囲内である。また、水平仕切り板を境に、供試体下部のコンクリートには、動的破壊作用による影響はほとんど生じていないことがわかる。

5. まとめ

簡易装薬ホルダーと仕切り板を組み合わせた杭頭の動的破碎工法の実用化を目的に、コンクリート柱状供試体と瞬発電気雷管を使用してモデル実験を行い、破壊メカニズムを高速ビデオ観察と破碎後の亀裂パターンから考察して、提案方法の有効性を明らかにした。本研究の主要な成果は以下のようにまとめることが出来る。

- (1) 先に考案したくさび形空洞を有する装薬ホルダーを使用して、供試体上部の水平方向の破断面制御のために、仕切り板を使用することの有効性を明らかにした。
- (2) 新たに作製した簡易装薬ホルダーの有効性をモデル実験で確認した。ビデオ画像から、この装薬ホルダーを使用すると、供試体上部から鉛直方向の縦割れの亀裂が進展し、同時に、杭頭処理部分と杭健全部との境界面に沿う水平方向の亀裂が生じることを確認した。
- (3) 現場施工への適用を考えて、ホルダー形状や、装薬孔深さなどの装薬条件が動的破碎制御に及ぼす効果を明らかにした。コンクリート杭の杭頭処理工法への適用から、実施工に対応させて、鉄筋かごと水平仕切り板を併用する方法の有効性を確認した。実験に使用した簡易装薬ホルダーは、任意の断面形状、長さで簡単に作成出来る事から、現場施工に活用することが出来る。

参考文献

- 1) 川崎浩司：施工，彰国社，No.281，1989，pp.38-41
- 2) H.Hayashi, et al. : Demolition and Reuse of Concrete Masonry (edited by E. K. Lauritzen, E & Fnspon), pp.231-241, 1994.
- 3) 中村裕一：公開特許公報，平4-158200.

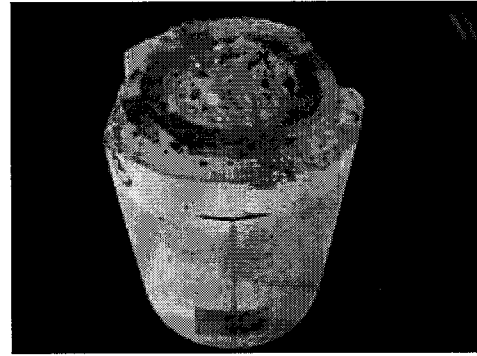


写真-5 簡易装薬ホルダー (Type C) を使用した場合の破断面形成状態 (スタンドオフなし、仕切り板2枚使用)

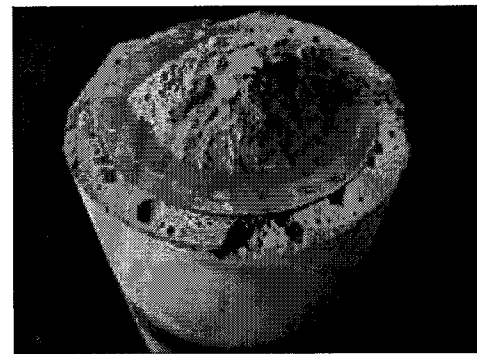


写真-6 簡易装薬ホルダー (突合せ部 90°) を使用した場合の破断面形成状態 (スタンドオフ 30mm、仕切り板2枚使用)

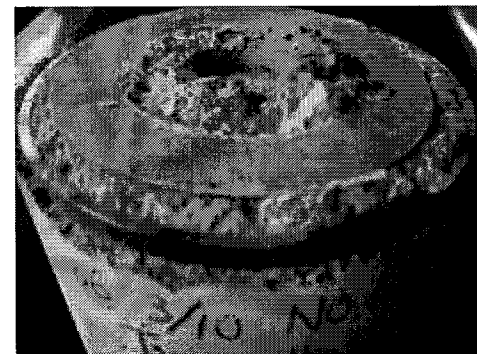
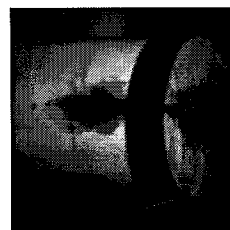
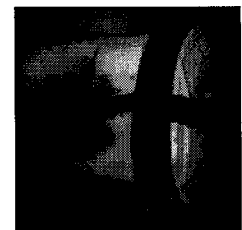


写真-7 簡易装薬ホルダー (Type C) を使用した場合の破断面形成状態 (スタンドオフなし、鉄筋かごと仕切り板を使用)



Frame No.25



Frame No.70

写真-8 写真-7に対応した柱状供試体上部の破壊挙動を示す高速度ビデオ画像 (撮影速度: 13500f/s)