

動的破砕による杭頭処理工法の実用化に関する実験

The experiment for practical use of the method for transaction of pile head in concrete through dynamic breaking

竹内博幸*, 中村裕一**, 中村聡磯***, 鳥原修****

Hiroyuki.Takeuchi, Yuichi.Nakamura, Satoki.Nakamura, Osamu Torihara

*技術士(総監部門・建設部門), 五洋建設(株)技術研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町)

** 工博, 熊本高等専門学校・特任教授, 建築社会デザイン工学科(〒866-8501 熊本県八代市平山新町)

*** カヤク・ジャパン(株)・担当部長, 研究本部技術部(〒130-0015 東京都墨田区横網1丁目)

**** 宇部興産(株), 建材カンパニー 東京建材支店(〒105-8449 東京都港区芝浦1丁目)

Key Words: Non-explosive demolition agent, Charge holder, Horizontal fin

キーワード: 非火薬破砕剤, 装薬ホルダ, 水平フィン

1. はじめに

最近の建設技術に要求される特性としては, これまでの「迅速性」, 「経済性」, 「安全性」に加えて, 「環境配慮性」, 「社会貢献性」などが挙げられる。特に, 杭頭処理など建設現場で騒音・振動を伴う工事においては, 高精度で効率的な破砕制御技術の確立が望まれて久しい。筆者らが開発した簡易装薬ホルダを場所打ち杭の杭頭余盛り部に先付け装着し, 非火薬の破砕剤を使用して, 杭頭を予定破断面で分離破砕する動的破砕による杭頭処理工法の開発をここ数年来進めている^{1), 2), 3)}。

今回の報告では, 水平破断方式による動的破砕工法をより実大規模に近い 1,500 の杭頭試験体に適用し, その破砕性状をさらに実用に近いレベルで検証した。なお, 今回適用した装薬ホルダは, 水平方向への破砕力を有効に引き出すことを目的とした水平フィン付の形状(図-1)に加えて, 豎管を2組の山形鋼を合わせた形状とし, 水平・鉛直両方向に破砕力を引き出す方式(図-2)についても破砕効果を検証した。いずれも豎管の上端が杭頭の余盛り部分より上に位置し, そこから破砕剤を装薬し, 遠隔操作にて有線破砕する機構としている。

した。また, ホルダ数や破断方式の違いによる破砕効果への影響についても検討した。

破砕剤はNRC(New Rock Cracker)とし, 装薬ホルダに破砕剤を詰めた後に, その天端を粘土材で密閉し, その上に超速硬無収縮モルタルを充填する。

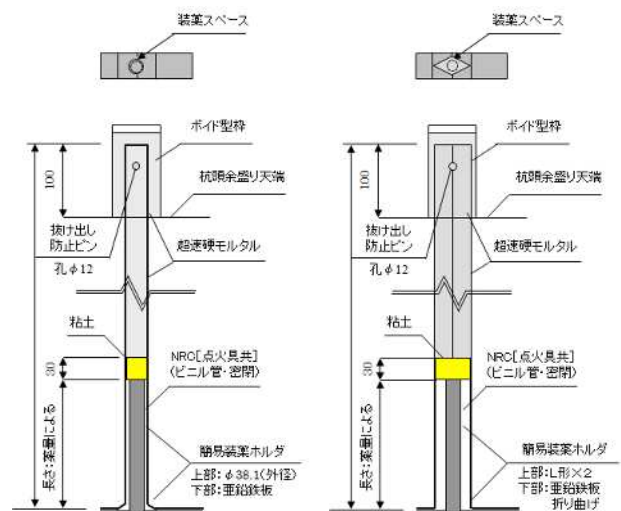


図-1 装薬ホルダ (水平破断方式)

図-2 装薬ホルダ (両方向破断方式)

2. 実験方法

2.1 実験概要

各試験体における実験因子を表-1に示す。

装薬ホルダは, 実際の杭頭を模擬した試験体に, 鉄筋や山形鋼などを架台とした簡易な方法により設置し, 杭鉄筋組立から移動, 建込み, トレミー管によるコンクリート打設と実際の施工を想定し, 各段階にて施工性を確認

表-1 各試験体における実験因子

試験体	装薬ホルダ			装薬量(1ホルダ分)	
	数量	形状	設置方法 ¹⁾	薬量	算定
1	4	水平	FB×4	113g	256×1.77/4
2	3	水平	L形×3	151g	256×1.77/3
3	3	両方向	L形×3	101g	標準×2/3
4	2	水平	L形×2	151g	標準×2/3

注] 1) FB: 平鋼, L形: 山形鋼

なお、表 - 1 における装薬量の算定では、これまでの NRC の使用実績により破砕対象断面積 1m^2 あたりの標準量を 256g としている。

2.2 試験体

試験体の形状・寸法と装薬ホルダの形状・配置を図 - 3 ~ 図 - 6 に示す。

試験体 1、同 2 および試験体 4 は、水平破断式ホルダを用い、試験体 3 は両方向破断式ホルダを用いた。

試験体のコンクリート調合は 33 - 18 - 25N とし、破砕は材齢 28 日と 29 日の時点で行い、その時点での圧縮強度は平均 $39.7\text{N}/\text{mm}^2$ (現場封緘養生) であった。

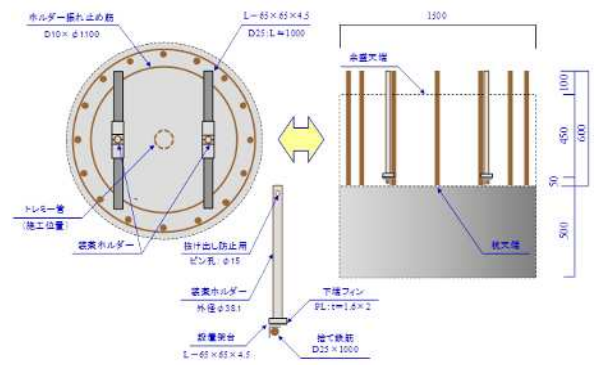


図 - 6 試験体 4 : 水平破断式 × 2

2 種類の装薬ホルダの出来形を写真 - 1 に示す また、各試験体における装薬ホルダの取付け状況を写真 - 2 ~ 5 に示す。

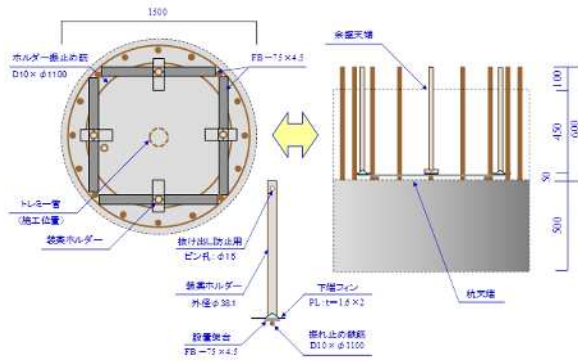


図 - 3 試験体 1 : 水平破断式 × 4

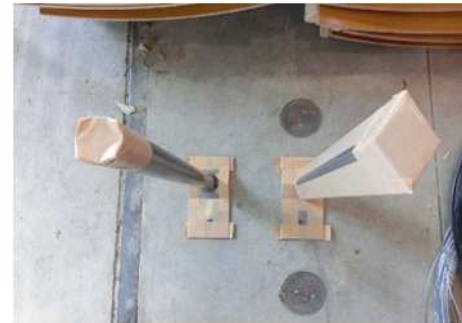


写真 - 1 装薬ホルダ : 2 種類
(水平破断方式, 両方向破断方式)

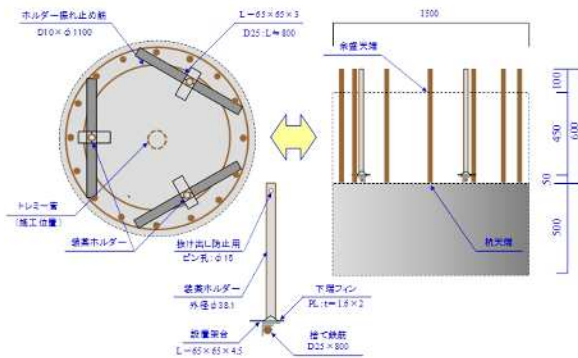


図 - 4 試験体 2 : 水平破断式 × 3

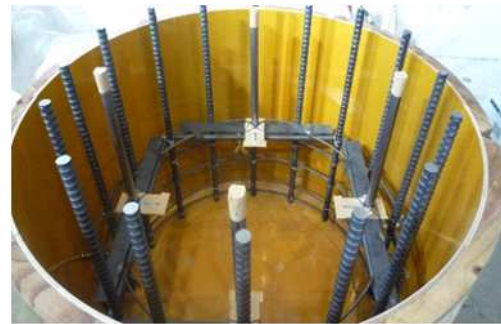


写真 - 2 試験体 1 型枠・鉄筋
装薬ホルダ設置状況 (水平 × 4)

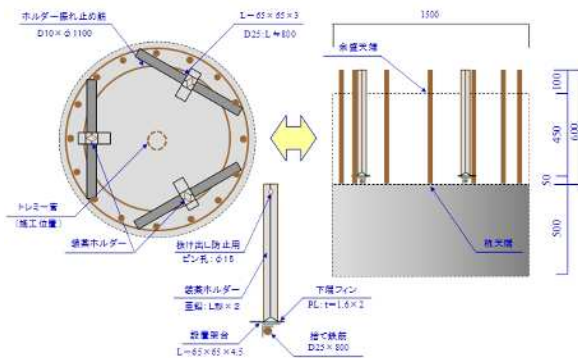


図 - 5 試験体 3 : 両方向破断式 × 3

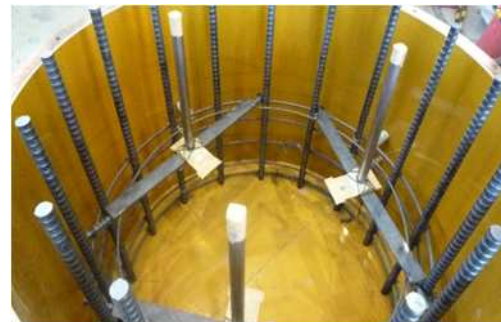


写真 - 3 試験体 2 型枠・鉄筋
装薬ホルダ設置状況 (水平 × 3)



写真 - 4 試験体 3 型枠・鉄筋装薬ホルダ設置状況 (両方向×3)



写真 - 7 NRC : 113g×4 (試験体 1)



写真 - 5 試験体 4 型枠・鉄筋装薬ホルダ設置状況 (水平×2)



写真 - 8 NRC 装薬 (試験体 1)



写真 - 9 粘土材充填



写真 - 10 タンピング



写真 - 11 ホルダ上部

3. 実験結果

3.1 試験体 1

基準試験体として、これまでの破砕実験の実績から装薬ホルダを 4 体とし、NRC の装薬量を 113g (256×1.77 / 4 体) とし、装薬ホルダの固定を (捨て筋+平鋼) とした。

各ホルダへの装薬は、NRC と点火具を密閉したビニルチューブを挿入し、その上部に粘土材を約 30 mm の厚さで詰め込み、ホルダ内の上部の空隙には速硬モルタルを充填した。ホルダ上部は塩ビ管 (65) を型枠とし、速硬モルタルを充填し、ホルダ上部を密閉・拘束状態とした。破砕までの養生時間は約 1 時間とした。



写真 - 12 超速硬モルタル



写真 - 13 破砕前養生



写真 - 6 試験体 1: 破砕前

破砕は、水平方向に破断されただけでなく、浮き上がった試験体上部が断面中央からホルダ方向に 4 分割して鉛直方向にも破断し、杭主筋に引っかかった状態で止まっていた。破砕面は、一部が想定面より上部となった他はほぼ水平状態であった。また、破砕直後の試験体上部の速硬モルタルは、4 体の中、1 体のみホルダ管状に薄い亀裂が見えた他は破砕による影響はまったく見られなかった。なお、破砕時の騒音レベルは、試験体から約 5m 離れた位置で 115.3dB(A) であった (図 - 7 参照)。

破砕後に、試験体の破砕面上部をフォークリフトで揚重したが、分割された各試験体が相互にせり合い、かつ鉄筋ともせったため、簡単には揚重できない状態であった。分割された試験体を 1 つずつ揚重したところ、ホルダを設置した鋼材とほぼ同一面に破砕面が形成されていた。



写真 - 14 破砕状況（直後）



写真 - 15 破砕状況（破砕面）

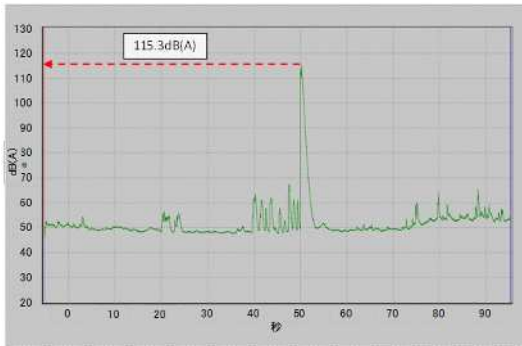


図 - 7 破砕音測定結果：試験体 1

3.2 試験体 2

試験体 2 では、装薬ホルダを 3 体として NRC の装薬量を 151g (256 × 1.77 / 3 体) とし、装薬ホルダの固定を (捨て筋 + 平鋼) とした。

ホルダへの装薬、ホルダ上部の拘束方法および充填材の養生時間は、試験体 1 (標準試験体) と同様とした。



写真 - 16
NRC : 151g × 3 (試験体 2)



写真 - 17
試験体 2 (破砕前)

破砕は、水平方向に破断されただけでなく、浮き上がった試験体上部の平面約 1/3 が鉛直方向にも破断し、杭鉄筋を超え跳ね出していた。残り約 2/3 は、杭主筋に引

つかかった状態で止まっていた。破砕面は、ほぼ水平状態であった。また、破砕直後の試験体上部の超速硬無収縮モルタルは、3 体の中、跳ね出した平面 1/3 の部分にあったホルダ上部を含めて、破砕前と状態は変わらず、破砕による影響は見られなかった。破砕時の騒音レベルは、試験体から約 5m 離れた位置で 114.3dB(A) であった (図 - 8 参照)。

破砕後に、残った破砕面上部 2/3 をフォークリフトで揚重したところ、杭鉄筋とのせりもなく、容易に切り離すことができた。水平破断面は、ホルダを設置した鋼材とほぼ同一面に破砕面が形成されていた。



写真 - 18 破砕状況（直後）



写真 - 19 破砕状況（破砕面）

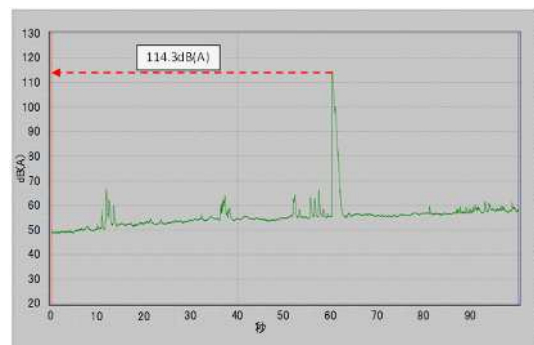


図 - 8 破砕音測定結果：試験体 2

3.3 試験体 3

試験体 3 では、装薬ホルダを縦管がひし形断面の両方向破断方式とし、NRC の装薬量を標準量の 2/3 とした。装薬ホルダの数量および固定方法は、試験体 2 と同様とした。

また、ホルダへの装薬、ホルダ上部の拘束方法および充填材の養生時間は、試験体 1、同 2 と同様とした。



写真 - 20

NRC : 101g x 3 (試験体 3)



写真 - 21

両方向ホルダ (試験体 3)



写真 - 22 試験体 3 (破砕前)

破砕の結果、試験体は、想定通り、水平・鉛直の両方向に破断した。しかし、水平破断面は、鉛直方向破断もほぼ同時に発生したため、破断レベルが不均一であった。その影響もあり、3分割された各杭頭片は、やや外側方向に傾いて、杭鉄筋に引っかかるような状態で止まっていた。破砕直後における試験体上部の超速硬無収縮モルタルは、破砕前と状態は変わらず、破砕による影響は見られなかった。破砕時の騒音レベルは、試験体から約 5m離れた位置で 105.8dB(A)であった(図 - 9 参照)。

破砕後に、残った破砕面上部をフォークリフトで揚重したところ、各片とも若干外側に傾いていたものの、杭鉄筋とのせりもなく、容易に切り離すことができた。水平破断面は、鉛直に破断した面に向けて若干高くなる傾向にあるが、設定破砕面より下にはならなかった。



写真 - 23 破砕状況 (直後)



写真 - 24 破砕状況 (破砕面)

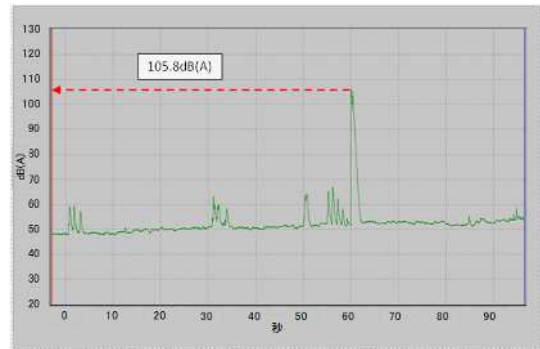


図 - 9 破砕音測定結果 : 試験体 3

3.4 試験体 4

試験体 4 では、装薬ホルダを豎管が円形断面の水平方向破断方式に戻し、その数量を 2 本とした。NRC の装薬量は試験体 3 と同様に、標準量の 2/3 とした。装薬ホルダの固定方法は、試験体 2 および同 3 と同様とした。ホルダへの装薬方法・手順、ホルダ部の拘束方法および充填材の養生時間は、他の試験体と同様とした。



写真 - 25

NRC : 151g x 2 (試験体 4)



写真 - 26 試験体 4 (破砕前)

破砕の結果、試験体 4 は、予想に反して、水平・鉛直の両方向に破断した。鉛直方向の破断面は、2 本の装薬ホルダを結ぶ直線上に発生していた。これは、破砕が発生した瞬間、2 箇所破砕心が連動し、水平破断面発生より極わずかに鉛直方向に持ち上がる動きが先行したことにより派生した現象と考えられる。これは、破砕後の同試験体上部が、2 つ割りになり、やや内側が持ち上がり、外周部がやや開いた形で杭鉄筋に引っかかるように止まっていた状態からも推察される。また、既往の杭径 1,200 の場合、水平破断のみ見られたことから、試験体の規模により破砕力の伝達状態に差が発生しているものと想定される。なお、破砕直後の試験体上部の超速硬無収縮モルタルは、破砕前と状態は変わらず、破砕による影響は見られなかった。破砕時の騒音レベルは、試験体から約 5m離れた位置で 109.3dB(A)であった(図 - 10 参照)。

破砕後に、残った破砕面上部をフォークリフトで揚重したところ、両片とも若干外側に傾いていたものの、杭鉄筋とのせりもなく、容易に切り離すことができた。水平破断面は、鉛直に破断した面に向けて若干高くなる傾向にあるが、設定破砕面より下にはならなかった。



写真 - 27 破砕状況 (直後)



写真 - 28 破砕状況 (破砕面)

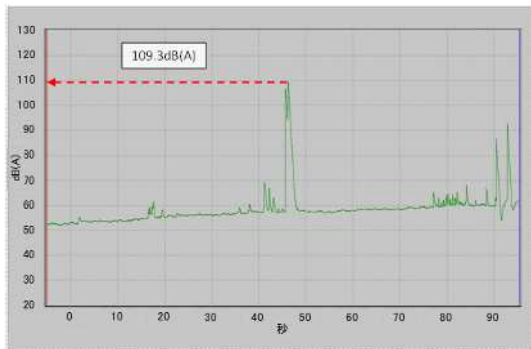


図 - 10 破砕音測定結果：試験体 4

4. まとめ

非火薬の動的破砕剤を適用し、装薬量、装薬ホルダの配置・数、装薬ホルダの形状を変化させた実大規模の杭頭試験体を破砕させたところ、表 - 2 に示す結果が得られた。また、各試験体における破砕状態の概要を以下に示す。

表 - 2 各試験体における実験結果

試験体	装薬条件		破砕状態		
	ホルダ	装薬量 ¹⁾	分割	概要	dB(A)
1	水平	113g × 4	4	一部跳ね出し	115.3
2	水平	151g × 3	3	一部跳ね出し	114.3
3	両方向	101g × 3	3	両方向破断	105.8
4	水平	151g × 2	2	両方向破断	109.3

注] 1) 実際の装薬量 / ホルダ × ホルダ数

(1) 装薬量

試験体 1 と同 2 は、標準装薬量 256g/m² としたが、破砕した解体片が一部跳ね出すなどやや過剰な破砕であったのに対し、装薬量をその 2/3 とした試験体 3 と同 4 は、その破砕状態から概ね適量と判断された。

(2) 装薬ホルダの数・配置

水平破断方式の装薬ホルダを用いた破砕では、杭径 1,200 の場合は水平方向にのみ破断されたが、同 1,500 の場合は、装薬ホルダ数に関わらず、いずれも鉛直方向にも破断されていた。これは、試験体の規模により、破砕力の伝達状態に何らかの差が発生しているためと考えられる。

(3) 装薬ホルダ形式

両方向破断式の装薬ホルダでは、想定通り、水平・鉛直両方向に破断したが、1,500 の試験体では、水平破断式の装薬ホルダであっても、両方向に破断が見られた。これは、試験体の規模による影響と想定されるが、その要因と発生条件は明らかでない。

(4) 杭頭天端における拘束

装薬ホルダの破砕剤上部は、超速硬無収縮モルタルで拘束しているが、破砕による変状は見られず、上部での拘束状態が確保されている。

以上、実大規模の 1,500 杭頭試験体を用いた動的破砕実験により、今回適用した装薬ホルダと装薬方法・条件により、想定された破砕状態の発生が可能であることが検証された。

謝辞

本実験を実施するにあたり、多大なご協力をいただいたカヤク・ジャパン(株)の田中雅規氏と宇部興産(株)の児玉亮治氏に、深い謝意を表します。

参考文献

- 1) 中村裕一, 中村聡磯, 竹内博幸, 田口琢也: 簡易装薬ホルダを使用したコンクリート杭頭の動的処理工法に関するモデル実験, 火薬学会, 2012 年度秋季研究発表講演会, pp.15-16, 2012.11
- 2) 竹内博幸, 中村裕一, 高橋祐一: 動的破砕による杭頭処理工法の開発, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol.35, pp.1339-1344, 2013.7
- 3) 竹内博幸, 高橋祐一: 動的破砕による杭頭処理工法の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.235-236, 2013.8