

動的破碎による杭頭処理工法の実用化に関する実験

竹内 博幸* 高橋 祐一*

要 旨

水平破断方式による動的破碎工法を、過年度実施の杭径(φ1,200)を上回る実規模φ1,500の杭頭試験体に適用し、その破碎性状をより実用に近い条件で検証した。今回適用した装薬ホルダは、過年度と同様に水平方向への破碎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とし、杭頭の余盛り部分より上に突出させた堅管の上端から破碎剤を装薬し、遠隔操作にて有線破碎する機構としている。また、水平破断方式の装薬ホルダの堅管を2つのL形鋼を合わせた形状とし、水平破断と縦割りを同時に発生させる破碎方式についても検証した。なお、破碎剤はいずれも非火薬のNRC(New Rock Cracker)とし、装薬ホルダに破碎剤を詰めた後に、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手順とした。

実大試験体による破碎実験では破碎剤の装薬量やホルダ数による破碎効果への影響について検討した。装薬ホルダの設置については、実際の杭頭を模擬し、鉄筋や形鋼を用いた簡易な方法により固定し、組立から移動、建込みと実際の施工を想定し、施工性の検証実験を行った。

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碎制御技術の確立が望まれて久しい。筆者らは、熊本高等専門学校の中村裕一教授と共同で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、非火薬破碎剤を使用して、杭頭を予定破断面で分離破碎する動的破碎による杭頭処理工法の開発をここ数年来進めている。¹⁾

今回は、水平破断方式による動的破碎工法をφ1,500の杭頭試験体に適用し、その破碎性状を実用に近い条件で検証した。なお、今回適用する装薬ホルダは、水平方向への破碎力を有効に引き出す水平フィン付の形状(図-1)とし、堅管の上端が杭頭の余盛り部分より上に位置し、そこから破碎剤を装薬し、遠隔操作にて有線破碎する。

破碎実験では、破碎剤の装薬量やホルダ数による破碎効果への影響について検討した。また、装薬ホルダの堅管を2つのL形鋼を合わせた形状とし合わせ目をテープ止めした(図-2)、水平破断と縦割りを同時に発生させる破碎方式についても検証を試みた。装薬ホルダの設置については、実際の杭頭を模擬し、鉄筋や形鋼など簡易な方法により、固定し、組立から移動、建込みと実際の施工を想定し、施工性の検証実験を行った。

なお、破碎剤は非火薬のNRC(New Rock Cracker:カヤク・ジャパン(株)販売品)とし、装薬ホルダに破碎剤を詰めた後に、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(フィルスターG:宇部興産(株)製品)を充填する。

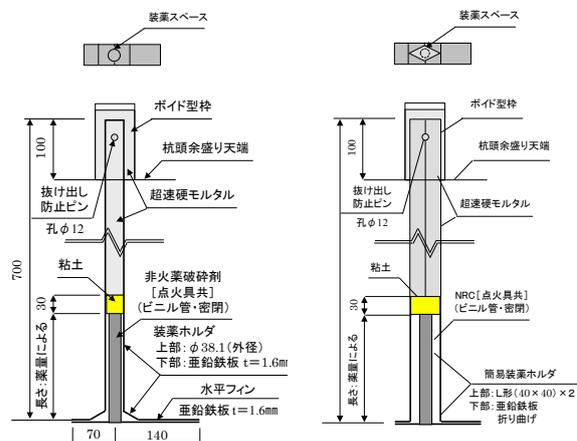


図-1 装薬ホルダ (水平破断方式)

図-2 装薬ホルダ (両方向破断方式)

2. 破碎実験概要

2.1 各試験体の実験因子

各試験体における実験因子を表-1に示す。

表-1中の装薬量は、予定の数量であり、最初に破碎する試験体1の破碎性状により、適時調整することとした。

*技術研究所 建築技術開発部

表－1 実験因子

試験体	破砕順序	装薬ホルダ			装薬量(1ホルダ分)		備考	
		数量	形状	縦管	設置方法 ¹⁾	薬量		算定 ²⁾
1	1	4	水平破断方式	丸管 φ38.1	FB×4	113g	256×1.77/4	:標準量
2	2	3	水平破断方式	丸管 φ38.1	L形×3	151g	256×1.77/3	:標準量
3	3	3	両方向破断方式	L-40×2	L形×3	101g	標準量×2/3	
4	4	2	水平破断方式	丸管 φ38.1	L形×2	151g	標準量×2/3	

注] 1) FB:平鋼、L形:山形鋼 2) 256gは、既往実験による単位断面積当りの標準量。1.77m²は杭頭φ1,500の断面積。

2. 2 装薬ホルダ設置

試験体の形状・寸法と装薬ホルダの形状・配置を図-3～図-5に示す。試験体1、同2および試験体4は、水平破断方式ホルダを用い、試験体3は両方向破断方式ホルダを用いた。前者は、水平フィンにより水平方向に破砕力が発生し、後者は、縦管の合わせ目により鉛直方向にも破砕力が発生する方式である。

装薬ホルダは、実際の杭頭を模擬した試験体に、鉄筋や形鋼などを架台とした簡易な方法により取付けた。破砕実験では、破砕剤の装薬量やホルダ設置方法の違いによる破砕効果への影響について検討した。

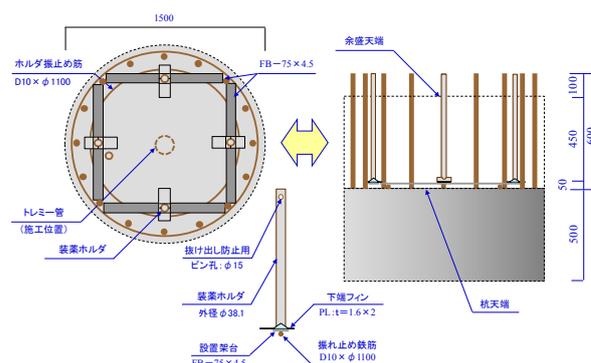


図-3 試験体1:水平破断方式×4

2. 3 試験体

試験体は、φ1,500mmの杭頭部分を模擬し、破砕面を下端より550mmの位置とした。試験体の杭鉄筋は、主筋16-D32、せん断補強筋D13@150とし、試験体天端より主筋を100mm上方に突出させた。かぶり厚は100mmとした。なお、杭頭部の主筋は、埋設部分につきエスレンボイド材で養生した。

試験体1は、水平破断方式の装薬ホルダ4体を、振れ止め鉄筋(D10)、平鋼(FB)を架台として、各FBの中央に配置し、番線や結束線にて簡易に固定した(図-3)。

試験体2は、水平破断方式の装薬ホルダ3体を、捨て鉄筋(D25)の上に山形鋼(L)と平鋼(FB)で架台を組み、各FBの中央に配置し、固定した(図-4)。

試験体3は、両方向破断方式の装薬ホルダ3体を、試験体2と同様の方法・位置で配置し、固定した。

試験体4は、水平破断方式の装薬ホルダ2体を、捨て鉄筋(D25)の上に山形鋼(L形)と平鋼(FB)で架台を組み、各FBの中央に配置し、固定した(図-5)。

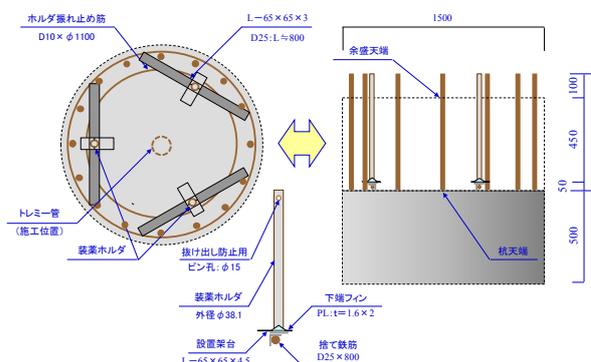


図-4 試験体2:水平破断方式×3
試験体3:両方向破断方式×3

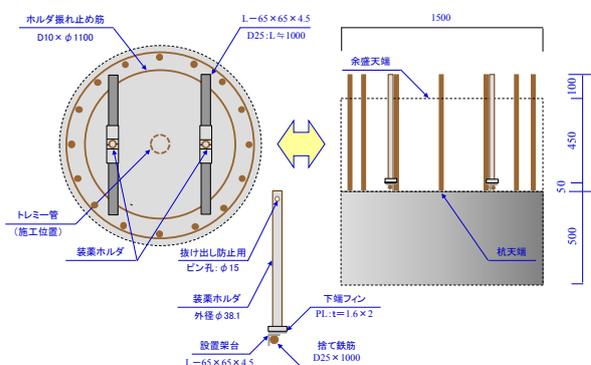


図-5 試験体4:水平破断方式×2

2. 4 装薬方法

装薬ホルダの縦管への破砕剤の装填は以下の通りである(図-1および同2参照)。破砕剤NRCは、装薬量に合わせた長さのビニル管に詰め、上部になる方に点火具を装着し、両端をプラスチック栓とシール材で密閉した(写真-1)。

破砕剤 NRC を詰めたビニル管を杭頭天端に突出している装薬ホルダの堅管から挿入し(写真-2)、その上に約 30 mm の厚さになるように粘土材を詰めた。リード線を外部に取り出した後、超速硬無収縮モルタルを装薬ホルダの堅管上端周辺に型枠として設置した塩ビ管と堅管上部に充填した(写真-3、同4)。同モルタル充填後、約1時間養生し、同硬化後に試験体を破砕した。

3. 破砕実験結果

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 の各装薬量を 113g ($256\text{g}/\text{m}^2 \times 1.77\text{m}^2 / 4$ 体)とした。なお、既往実験において、装薬量は破砕断面積と比例関係にあることが明らかとなっており、これまでの実績により単位面積当り 256g を標準量とした。

各ホルダへの装薬は、2.4に示す方法により行った。ホルダ上部の型枠は、塩ビ管(φ65)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(写真-3、同-4)。

破砕実験の結果、試験体1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、各片が杭主筋に引っかかった状態で止まっていた(写真-6)。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体だけにホルダ管と同一円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離れた位置で最大 115.3dB (A)であった(図-5参照)。

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、破断された杭頭コンクリート片が相互にせり合い、かつ各片が杭主筋ともせったため、簡単には揚重できない状態であった。分割された試験体片を1つずつ揚重し、取り除いたところ、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-7:破砕面図示)。



写真-2 破砕剤装薬(試験体1)



写真-3 ホルダ上部納まり(試験体1)



写真-4 超速硬モルタル充填(試験体1)



写真-5 破砕前養生状況(試験体1)



写真-1 破砕剤:NRC



写真-6 破砕直後(試験体1:南側)



写真-7 杭頭天端状態(試験体1:上部除去後)



写真-8 破砕前状況(試験体2)

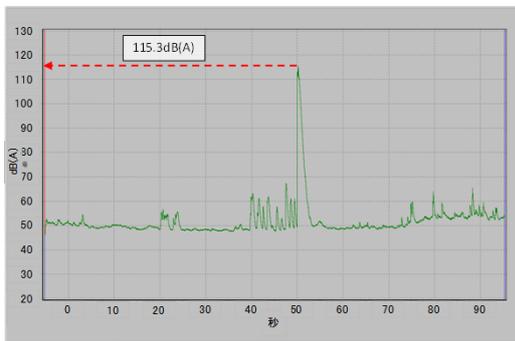


図-5 破砕音測定結果



写真-9 破砕直後(試験体2:一部飛来落下)

4.2 試験体2

試験体2では、装薬ホルダを3体とし NRC の各装薬を標準量相当 151g ($256\text{g}/\text{m}^2 \times 1.77\text{m}^2 / 3$ 体) 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。

破砕実験の結果、試験体2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の余盛り部分の約 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、杭主筋に引っかかった状態で止まっていた(写真-9)。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、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、3体とも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離れた位置で最大 114.3dB(A)であった。

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、杭主筋とのせりもなく、容易に揚重することができた(写真-10)。破断面は、ホルダを設置した鋼材とほぼ同一面に水平に形成されていた(写真-11)。



写真-10 破砕直後(試験体2)

4.3 試験体3

試験体3では、装薬ホルダの堅管がひし形断面の両方向破断方式とし(写真-12)、NRC の各装薬量を標準量(256g



写真-11 破砕面状況(試験体2)

/m²)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。

破砕実験の結果、試験体3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分割された各試験片は、やや外側方向に傾き、杭鉄筋に引っかかるような状態で止まっていた(写真-13)。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離れた位置で最大 105.8dB(A)であった。

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、杭主筋とのせりもなく、容易に揚重することができた。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、設定した破砕面より下にはならなかった。

4.4 試験体4

試験体4では、装薬ホルダを堅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 の各装薬量は試験体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、ホルダ上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。

破砕実験の結果、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、破砕発生時に、2箇所の破砕心が連動し、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する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。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離れた位置で最大 109.3dB(A)であった。

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、杭主筋とのせりもなく、容易に揚重することができた。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ったが、設定した破砕面より下にはならなかった。

5. 施工性検証実験結果

本工法では、装薬ホルダの設置は、鉄筋や形鋼を用いた



写真-12 破砕剤装薬(試験体3)



写真-14 破砕前状況(試験体4)



写真-13 破砕状況(試験体3:一部撤去)



写真-15 破砕直後状況(試験体4)

簡易な方法により行っているが、組立から揚重、移動、建込みと実際の施工を想定し、施工性の検証を行った。

実験は、実大規模の杭鉄筋を組み立て、杭頭部に装薬ホルダを破砕実験の試験体と同様の方法で取り付け、組み立てた状態から揚重・移動、さらに建込みと通常の手順で施工を行い、各段階でホルダ設置の精度を確認した。

図-7にホルダ精度の測定位置を示す。また、各段階における測定結果を表-3に示す。

これより、各段階でのホルダのずれは施工誤差以内であり、いずれも破砕性状に影響を及ぼすものではなく、通常通り施工することが可能であると考えられる。

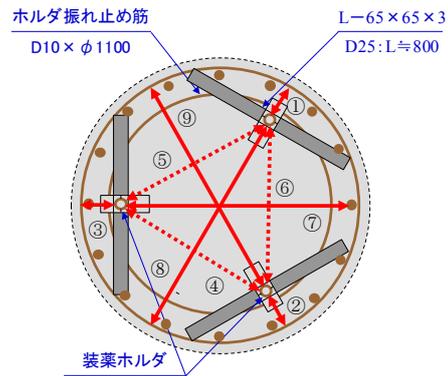


図-7 装薬ホルダ設置精度測定

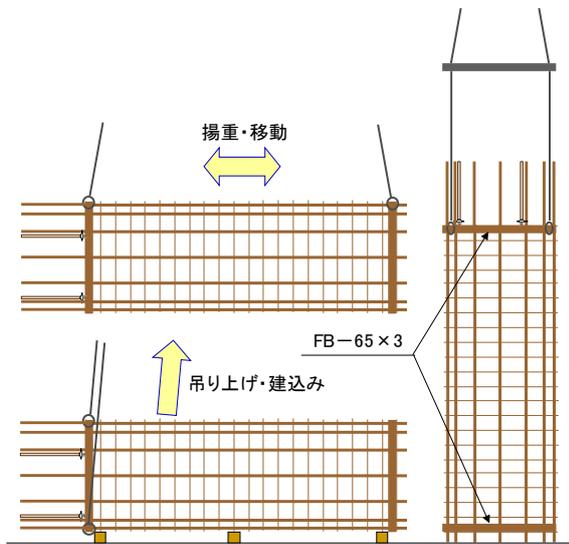


図-6 施工性検証実験概要

表-3 精度測定箇所一覧(単位:mm)

No ¹⁾	測定箇所	組立時	移動後	建込後
①	ホルダ⇔鉄筋(近)	152	150	153
②	ホルダ⇔鉄筋(近)	118	118	118
③	ホルダ⇔鉄筋(近)	137	137	134
④	ホルダ⇔鉄筋(遠)	610	613	614
⑤	ホルダ⇔鉄筋(遠)	628	629	631
⑥	ホルダ⇔鉄筋(遠)	650	645	646
⑦	ホルダ⇔ホルダ	380	379	381
⑧	ホルダ⇔ホルダ	397	400	402
⑨	ホルダ⇔ホルダ	416	418	418

注] 1) 図-7のホルダ精度の測定位置を示す。

6. まとめ

6.1 破砕実験

- ・水平破断方式の装薬ホルダは、これまでの4体から3体、ないし2体にしても、実大規模の杭頭試験体の余盛り部分を水平に破断することができた。いずれも水平方向だけでなく鉛直方向にも破砕されたため、破砕後の揚重が難しくなる場合があった。
- ・両方向破断方式の装薬ホルダを3体配置して、実大規模の杭頭試験体を破砕させたところ、ほぼ想定通りに両方向の破砕現象が見られた。
- ・試験体から5mの位置での破砕時の騒音は、装薬量を標準量の2/3とした場合、標準量の場合に比べエネルギー量が1/3程度以下となる105.8~109.8dB(A)であった。
- ・破砕後の水平破断面は、いずれも想定通りの位置であったことから、今回の各試験体におけるホルダの設定は、形状、配置、数量を含めて、適切であったものと判断される。

6.2 施工性検証実験

装薬ホルダの設置は、形鋼や鉄筋を用いた簡易な方法としているが、実際の杭施工を模擬して、各段階でその精度を確認したところ、いずれも破砕性状に影響を及ぼすものではなく、通常通り施工することが可能であると考えられる。

謝辞

今回の一連の実験にあたり、計画から実施に到るまで共同研究者として御指導いただいた熊本高専の中村裕一教授と主要な材料を御提供いただき、かつ実験対応で御協力いただいたカヤク・ジャパンの中村聡磯氏、および宇部興産の樋口毅氏には深い謝意を表します。

参考文献

- 1) 中村, 他: コンクリート杭頭の動的破砕処理工法に関するモデル実験, 平成24年度火薬学会秋季講演要旨集, P. 15-16