動的破砕による杭頭処理工法の開発

竹内 博幸* 髙橋 祐一*

要旨

水平破断方式による動的破砕工法を実大規模の杭頭試験体に適用し、その破砕性状から実用化が可能であることを確認した。今回の装薬ホルダは、水平方向への破砕力を有効に引き出す水平フィンと破砕剤が装薬される竪管で構成され、装薬は2段階で行う。①装薬ホルダの竪管の上端が杭頭の余盛り部分より上に位置するように設置する、②杭コンクリートの硬化後、竪管に破砕剤を装薬し、遠隔操作にて有線破砕する。装薬ホルダは、鉄筋や形鋼を架台とした簡易な方法により取り付けられ、実際の施工状況を模擬し、各段階にて検証を行った。また、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も検討した。

検証実験の結果、水平フィン付き装薬ホルダは、事前に実施した縮小モデル実験で確認された破砕性状と同様の結果が得られた。破砕面は、想定した通り水平方向に発生し、破砕高さとほぼ一致していた。破砕後、杭頭部コンクリート塊を揚重したところ、容易に切り離すことができた。なお、本工法で使用する破砕剤は非火薬剤であり、装薬ホルダへ装填後、超速硬無収縮モルタルで閉封した。

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砕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(特許共同出願中)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。

今回の報告では、水平破断方式による動的破砕工法を実大規模の杭頭試験体に適用し、その破砕性状を実用化に近いレベルで検証した。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)で、竪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。

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、各段階にて施工検証を行った。また、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 についても検討した。

2. モデル実験

実規模試験体による実験に先立ち、水平破断方式の装薬 ホルダの有効性を確認するために、小型試験体によるモデ ル実験を行った。

試験体は、 ϕ 20×30 cmの円柱体で、高さ 1/2 の位置に小型化した装薬ホルダを断面中央に配置し、試験体天端より突出させたホルダ上方から破砕剤を装薬し、固化充填材にて閉封した。配筋は、鋼棒 ϕ 9 を4本、試験体底部に敷設した鋼製の円形板上に据えた。なお、破砕剤は火薬種のCCR (Cracker for Concrete and Rock)を適用した。また、ホルダ下部のフィンの幅を5cmと8cmの2種類とした。

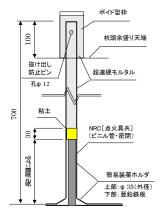






写真-1 モデル試験

^{*}技術研究所 建築技術開発部

破砕試験の結果、いずれの試験体とも、フィン位置に破砕面が形成され、分離破砕された試験体上部は、配置された鋼棒の上方に抜けて、飛来落下した(写真-1)。なお、フィン幅 5 cmと 8 cmでは、破砕状態や破断面状態に大きな差異は見られなかった。写真-1はフィン幅 5 cmの装薬ホルダが設置された試験体による。

3、実規模実験

3.1 実験概要

水平破断方式による動的破砕工法を実大規模の杭頭試 験体に適用し、その破砕性状を実用レベルで検証した。

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、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、各段階にて施工検証を行った。また、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 についても検討した。

なお、破砕剤は、非火薬破砕剤 NRC (New Rock Cracker: カヤク・ジャパン (株) 販売品)を適用し、装薬ホルダ内の充填は、粘土材 (突固め: t≒30 mm)、超速硬無収縮モルタル (フィルスターG: 宇部興産 (株) 製品)の併用とした。

実験因子を**表-1**に示す。装薬量は、実験当初の予定と実験の進捗に伴い、先行結果に基づき調整し、実際に装薬した量と併せて表記している。

3.2 試験体

試験体は、φ1,200 mmの杭頭部分を模擬し、破砕面を下端より525 mmの位置とした。試験体の杭鉄筋は、主筋12-D32、せん断補強筋D13@150とし、試験体天端より主筋を100 mm上方に突出させた。かぶりは100 mm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。

各試験体の装薬ホルダの設置方法を図-2~4に示す。 試験体1は、装薬ホルダ4本、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。

試験体2は、装薬ホルダ4体を、捨て鉄筋の上に山形鋼(L)と平鋼(FB)で架台を組み、各 FB の端部に配置し、固定した。試験体3は、装薬ホルダ6体を、FB 中央に2体、同端部に4体を配置し、固定した。

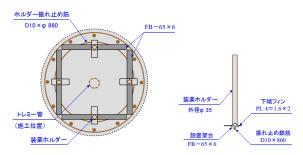


図-2 装薬ホルダ配置:試験体1

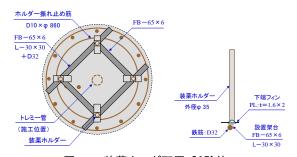


図-3 装薬ホルダ配置:試験体2

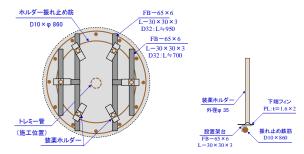


図-4 装薬ホルダ配置:試験体3

表-1 実験因子

試験体 No.	破砕順序	装薬ホルダ		装薬量(予定:/1本)			装薬量(実施)	
		数量	設置方法 1)	薬量	算定	摘要	薬量	摘要
1	4	4	FB×4	72g	$256 \times 1.13 / 4$	標準 2)	30g	5/12
2-1	1	4	捨て筋+L+FB	72g	$256 \times 1.13 / 4$	標準 2)	72g	標準:1
2-2	2	4	捨て筋+L+FB	48g	標準×2/3	少	54g	3/4
2-3	3	4	捨て筋+L+FB	96g	標準×4/3	多	40g	$9/16^{3)}$
3	5	6	捨て筋+L+FB	48g	$256 \times 1.13 / 6$	標準 2)	27g	$9/16^{4)}$

- 注] 1) 捨て筋: 杭主筋と同径(D32)、L: 山形鋼、FB: 平鋼
 - 2) 破砕面1m²あたり256g が破砕剤NRCの標準量。杭の平断面積:1.13m²。
 - 3) 3/4×3/4=9/16 4) 全装薬量は試験体2-3と同じ。(40g×4 本≒27g×6 本)

3.3 装薬方法

装薬ホルダの竪管(外径 ϕ 35)への破砕剤の装填は以下の通りである(図-1参照)。

破砕剤 NRC は、装薬量に合わせて切り出したビニル管に詰め、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-2**参照)。

破砕剤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竪管から挿入し(写真-3参照)、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竪管周辺に設置したボイド型枠内に充填した(写真-4参照)。

4. 実験結果

4.1 試験体2-1

最初の1体目は、装薬ホルダの固定を(捨て筋+L 形鋼+平鋼)とする試験体2シリーズ3体の中の1体とし、これまでの実績からNRCの装薬量を標準量の72g(256×1.13/4本)とし、これを基準試験体とした。その破砕状態から判断して以降の同シリーズの試験体への装薬量を調整することとした。

試験体に埋設されたホルダへの装薬は、3.3に記載した方法により装填し、超速硬モルタル充填後破砕までの養生時間を約1時間とした。

破砕は、衝撃がやや過剰気味に感じられたが、破砕面は、一部が想定面より上部に現れ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超速硬無収縮モルタルは、4体の中、1体のみホルダ管近傍に薄い亀裂が見られたが、これは硬化収縮によると推察され、破砕による影響はまったく見られなかった。なお、試験体から約5m離れた位置で、騒音計により測定された破砕音のピークは図ー5に示すように、113.0dB(F)であったが、瞬間的な音響で、衝撃感を伴うようなものではなかった。

破砕実験終了後に、試験体の破砕面上部をフォークリフトで揚重したところ、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-2 破砕剤:NRC



写真-3 NRC 装薬(No.2-1)



写真-4 超速硬モルタル充填(No.2-1)



写真-5 装薬完了:破砕前(No.2-1)



写真-6 破砕直後(No.2-1)



写真-7 杭頭余盛り部切り離し(No.2-1)



写真-8 杭頭天端状態(切り離し後:No.2-1))

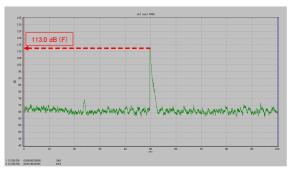


図-5 破砕音測定結果

4.2 試験体2-2

当初は、基準試験体(試験体2-1)より装薬量を増量する 予定であったが、基準試験体の装薬量がやや過大であった と判断し、この試験体では NRC の装薬量を $54g(72g\times3/4)$ とした。

ホルダへの装薬方法は、試験体2-1と同様とした。ホルダ 上部は、塩ビ管(φ65)を型枠とし、超速硬無収縮モルタルを 充填し、密閉・拘束状態とした(**写真-9**参照)。破砕までの 養生時間は同モルタル充填後約1時間とした。

破砕時の衝撃感は、試験体2-1より低下したものの、破砕に必要な装薬量としてはまだ少し過剰と考えられる。破砕面は一部が想定面より上部に現れ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箇所 とも破砕による変形・ひび割れなどの影響はまったく見られな かった(写真-10参照)。

なお、破砕音のピークは 111.2dB(F)であったが、瞬間的な音響であり、衝撃感を伴うものではなかった。

破砕試験終了後に、試験体の破砕面上部にアンカーを取り付け、フォークリフトで揚重し切り離したところ、装薬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-9 超速硬無収縮モルタル充填状況(No.2-2)



写真-10 破砕直後(No.2-2)

4.3 試験体2-3

当初は、基準試験体(試験体2-1)より装薬量を減量する 予定であったが、試験体2-2の装薬量(54g)もまだやや過 大であると推察し、この試験体ではNRCの装薬量を $40g(72g \times 9/16[3/4 \times 3/4])$ とした。

ホルダへの装薬方法は、試験体 $2-1\cdot 2-2$ と同様とした。 ホルダ上部は、ボイド(ϕ 75)を型枠とし、超速硬無収縮モルタルを充填し、密閉・拘束状態とした(**写真**-11 参照)。破砕までの養生時間は約1時間とした。

破砕は、試験体2-2より衝撃感は低下し、装薬量としては 概ね妥当なところと推察された。破砕面は想定面近傍で、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箇所とも破砕による変形・ひび割れなどの影響 はまったく見られなかった(**写真-12** 参照)。なお、破砕音のピークは 114.3dB(F)であったが、瞬間的な音響であり、衝撃感を伴うものではなかった。

破砕試験終了後、試験体の破砕面上部にアンカーを取り付け、フォークリフトで揚重し切り離したところ、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-11 超速硬無収縮モルタル充填状況(No.2-3)



写真-12 破砕直後(No.2-3)

4.4 試験体1

試験体1は、当初、基準試験体(試験体2-1)と同一の装薬量とする予定であったが、試験体2-3の装薬量(40g)が下限値とどのような関係にあるかを確認するため、NRCの装薬量を $30g(72g\times5/12)$ とした。なお、装薬ホルダの固定は、平鋼を杭断面内4辺に渡し、その各中央にホルダを配置する方式とし、試験体2シリーズとの比較を試みた。

ホルダへの装薬方法は、試験体2シリーズと同様とした。ホルダ上部には、試験体2-3と同様に、ボイド(φ75)を型枠とし、超速硬無収縮モルタルを充填し、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。

前記条件で点火したが、目視、聴音の範囲では、破砕現象は一切表出しなかった。そこで、ビデオ、騒音計の記録を確認したところ、点火時に軽微な破裂音が発生していたことが

明らかになった。破砕音のピークは、他の作業音と変わらない程度の 85.8 dB(F)であった。また、破砕から 20 日後に、破砕想定面付近をリバウンドハンマーで打撃したところ、表面硬度が低下するような変状箇所は見当たらなかった。

以上より、今回の試験条件の範囲で、破砕面を形成できる 装薬量は、試験体断面 1.13 ㎡あたり総量で 160g と 120g の 間であることが推察されたが、明確な特定にまでは到らなか った。

4.5 試験体3

試験体3は、装薬ホルダを6本とし、当初は、基準試験体 (試験体2-1)と総量で同一の装薬量とする予定であったが、試験体2-3の装薬量 (40g) がほぼ適正値であるとみられたため、この試験体では NRC の装薬量を $27g(=40g\times4/6)$ とした。なお、装薬ホルダの固定は、平鋼4片を杭断面内に渡し、その各端部にホルダを配置する方式とし、試験体1および2シリーズとの比較を試みた。

ホルダへの装薬方法は、試験体1および2シリーズと同様とした。ホルダ上部は、4箇所はボイド(φ75)を型枠とし、超速硬無収縮モルタルを充填し、密閉・拘束状態とした(写真-13 参照)。他2箇所はホルダ管露出とし、ホルダ上部に超速硬無収縮モルタルを詰めるだけとし、1箇所については抜け出し防止のピン(鉄筋 D10、図-1参照)も省略し、比較を試みた。超速硬無収縮モルタル充填後、破砕までの養生時間は約1時間とした。

破砕時の衝撃は、試験体2-3より低下した感があるが、装薬量としては概ね適切と推察された。なお、破砕音のピークは 104.9 dB(F)であったが、瞬間的な音響であり、衝撃感を伴うものではなかった。破砕面は想定面近傍で、ほぼ水平状態であった(写真-14 参照)。また、破砕直後の試験体上部の速硬モルタルは、ホルダ露出の2箇所を含めて6箇所とも破砕による変形・ひび割れなどの影響はまったく見られなかった。



写真-13 超速硬無収縮モルタル充填状況(No.3)

破砕試験終了後、試験体の破砕面上部にアンカーを取り付け、フォークリフトで揚重し切り離したところ、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 破砕直後(No.3)

5. まとめ

5.1 水平破断方式装薬ホルダの効果

- ・実大規模の杭頭に2種類の方法で取り付けられたフィン付き水平破断式ホルダの効果は、縮小モデル実験で確認された性状と同様であり、実大規模においても期待された結果が得られた。
- ・装薬量は、これまでの実験で得られた単位面積あたりの標準量を大きく下回り、その約55%程度が適量と推察された。
- ・破砕後の破断面は、想定面とほぼ同一で、一部想定面より 上方に現れた試験体もあったが、ほぼ水平方向に発生し、今 回のホルダが配置、数量も含めて、適切であったものと判断 される。
- ・破砕後、杭頭部を揚重したところ、今回の配筋条件・状態の範囲では、容易に切り離すことができ、鉄筋のせりやロックなどの現象はまったく見られなかった。

5.2 ホルダの設置方法

- ・ホルダの設置は、山形鋼(鉄筋下地)2片+平鋼片と平鋼4 片の2種類の方法で行ったが、破砕に関しては、両者による 違いや影響は見られず、いずれも簡易な方法であることから、 実際の施工に対し有効であると判断される。
- ・山形鋼+平鋼の方法については、杭鉄筋を横倒した状態 から立ち上げるまでを模擬した施工検証を行ったが、特に問 題はなく、施工による不具合も見られなかった。
- ・装薬ホルダ数は、今回の試験体の規模・形状(ϕ 1,200、12 -D32)では、4箇所で十分な破砕効果が得られた。6箇所配置では、装薬総量を同一にすることで、やはり十分な破砕効果が得られたが、装薬ホルダ数の違いによる効果は、今回の試験の範囲では見られなかった。

5.3 装薬方法・装薬量

- ・破砕剤の装薬方法(ビニール管密閉: 点火具とも)、粘土材の充填は、これまでの実績を含め、最も有効な方法と考えられるが、その上部の充填材については、既製の接着系アンカー材など従来の充填材を付加することなく、超速硬無収縮モルタルをホルダ上部に充填するだけで、破砕に対する拘束性は十分であることが明らかになった。
- ・今回、装薬ホルダ上部に超速硬無収縮モルタルを充填し、 余剰分を付加しない方法でも、特に破砕の影響は見られな かった。また、抜け出し防止のピンがなくても破砕の影響は見 られなかった。
- ・今回の装薬方法で有効な破砕面を形成できる破砕剤の装薬量の下限値は、試験体断面積の1.13 ㎡に対し160gと120gの間であると推察された。これは、㎡あたり140g~105gの装薬量となる。
- ・破砕に伴う衝撃音のピークは、104.9~114.3dB(F)であったが、いずれも瞬間的な音響であり、衝撃感を伴うものではなかった。

5.4 その他

- ・杭主筋の養生・縁切りは、既製のスチレンボイド材で十分あることが明らかになった。これにより、破砕後、杭頭余盛り部を破砕することなく、そのまま切り離し、揚重・撤去できることが明らかになった。
- ・杭頭余盛り部の揚重・撤去を円滑に行うためには、あらかじめ余盛り部に吊り元のアンカーを設ける必要がある。

5.5 今後の課題

今回の検証実験の結果、本工法における課題として以下 の事項が抽出された。

- ・装薬ホルダロの密閉処理方法の簡易化・効率化
- ・装薬方法の合理化・省力化(水や空隙によるクッション効果の適用など)
- ・破砕音の低減・減衰
- ・試験体の規模・形状や鉄筋量をより実状に近似させた条件 での検証実験
- ・実際の杭頭への装薬ホルダの組込みと杭鉄筋の揚重・建込み、コンクリート打設など実施工による施工性の検証

【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、かつ実施対応で御協力いただいたカヤク・ジャパンの中村聡磯氏、田口琢也氏、および宇部興産の樋口毅氏には深い謝意を表します。