

報告 動的破砕による杭頭処理工法の実用化

竹内 博幸^{*1}・中村 裕一^{*2}・高橋 祐一^{*3}

要旨：水平・鉛直同時破断方式による動的破砕工法を仙台市内の某マンション新築工事における 2,400mm の杭頭処理に適用した。今回適用した装薬ホルダーは、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とし、縦管は山形鋼を2つ組み合わせて合わせ目をテープ止めした形状とし、水平破断と鉛直破断を同時に発生させる破砕方式とした。縦管の上端が杭頭の余盛り部分より上に位置し、そこから破砕剤と点火具を装薬し、遠隔操作にて有線破砕する機構としている。破砕は、杭頭天端の超速硬無収縮モルタルの硬化を確認した後、有線・遠隔操作にて行った。

キーワード：動的破砕, 杭頭処理, 装薬ホルダー, 水平破断, 鉛直破断, 超速硬無収縮モルタル

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ー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・鉛直同時破断方式による動的破砕工法を実工事における 2,400mm の場所打ち杭の杭頭処理に適用した。なお、使用した装薬ホルダーは、杭径

が最大の 2,400mm であることから、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、縦管を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)とした。いずれの装薬ホルダーも縦管の上端が杭頭の余盛り部分より上になるように設置し、杭頭が露出した後に、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。

2. 施工方法

2.1 装薬ホルダーの取付け

装薬ホルダーは、縦管の断面がひし形の水平・鉛直同時破断方式を用いた(写真-1)。同ホルダーの取付けは、

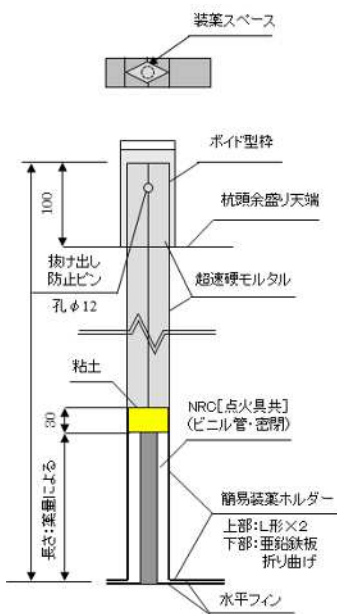


図-1 装薬ホルダー

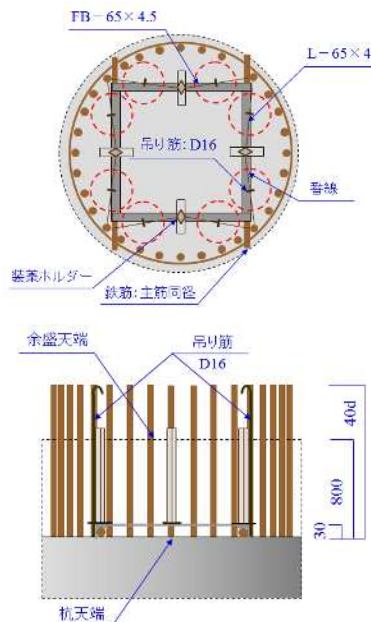


図-2 装薬ホルダー設置方法



写真-1 装薬ホルダー
(水平・鉛直同時破断方式)

*1 五洋建設(株)技術研究所 建築技術開発部 技術士(総監・建設)(正会員)

*2 熊本高等専門学校 建築社会デザイン工学科 特任教授 工学博士

*3 五洋建設(株)技術研究所 建築技術開発部 博士(工学)(正会員)

杭鉄筋組立て後、杭鉄筋建込み前に行った。

破砕剤は、水に接触すると性能が失われるので、装薬ホルダーは、あらかじめ開口や合わせ目をすべてガムテープなどで密閉状態とした(写真-1)。装薬ホルダーは、杭鉄筋上部の杭頭仕上げラインより30mm高い位置にホルダーの水平フィンが設置されるように(図-2)、捨て鉄筋、山形鋼、平鋼を組み合わせた架台の上に、番線などで結束し、固定した(写真-2)。また、破砕片が杭頭平面の約1/4になることを想定し、吊りアンカー(D16)を各片に2本ずつ配置されるように取り付けた(写真-3)。

2.2 補助材の取付け

杭頭破砕後に杭頭部が柱主筋を抜けて揚重できるように、柱主筋に付着切りの処置としてエスレンボイド材をあらかじめ巻き付けておいた。(写真-4)

また、杭頭部が破砕により縦割りされて、個別に揚重する必要が生じても対応できるように、各装薬ホルダーと背中合わせになる杭主筋に細径鉄筋(D16)で加工された吊りアンカーを杭主筋露出部に結束線などで取り付けておいた(図-2)。

2.3 杭施工時の対応

杭鉄筋建込み時には、装薬ホルダーの取付け箇所に変状がないよう注意して作業を行った(写真-5、写真-6)。また、杭コンクリート打設時には、トレミー管が、装薬ホルダーやその固定治具などに接触しないよう、常

に杭中心部に保持しながら打設作業を進めた(写真-7)。

また、杭頭レベルが地下部に位置する場合、掘削作業時には、余盛り部から立ち上がる杭主筋に、掘削機のショベルが当たり、変形したりすることのないように、注意して作業を進めた。



写真-4 杭主筋付着切り材(エスレンボイド)



写真-5 杭鉄筋建込み



写真-2 装薬ホルダー設置例



写真-6 杭鉄筋建込み



写真-3 装薬ホルダー設置方法(近接)



写真-7 杭コンクリート打設

3. 杭頭処理

3.1 破砕前の杭頭の状態

破砕作業に入る前の準備として、まず、掘削時に変形させられた杭主筋の台直しがある。これは、動的破砕により杭頭部分が水平破断されるため、杭主筋が鉛直に近い状態であれば、鉄筋をくぐってそのまま揚重することができるためである。したがって、動的破砕による杭頭処理を適用する場合、杭主筋の台直しはその前に行っておく必要があるが、実際には、写真 - 8 にあるように、杭筋は杭頭部からわずかしき出ていないため、台直しは極めて難しいと思われた。また、杭筋は全体的に外側に傾いた状態で杭頭部が硬化しているため、破砕後に杭筋をくぐらせて杭頭部を揚重するのも極めて難しいと予測された。

あらかじめ杭鉄筋に固定された装薬ホルダーの上部は、写真 - 9 にあるように、かなり変形ないし破損している状態であった。



写真 - 8 掘削工事後の杭頭の状況



写真 - 9 装薬ホルダーの状況 (杭 No.13)

3.2 破砕剤の装薬

今回用いる非火薬破砕剤は、これまでの実績より杭頭面積 1 m^2 あたり 256 g を標準量としているが、装薬ホルダーの配置や杭頭部分の体積などにより変化し、概ね標準量より低減する傾向にある。したがって、最初に標準量で破砕し、その状況、状態により、当該条件下における適量を調整しながら、最適量を見出す手順とする。

なお、今回の場合、杭径が 2.4 m につき、当該破砕剤の標準量は $1,158\text{ g}$ ($256\text{ g} \times 1.2 \times 1.2 \times$) となる。

まず、所定量の破砕剤と点火具を当該装薬ホルダー内に納まる径のビニル管に詰めるが、先にシーリング接着剤を塗布したゴム栓で端部を密閉したビニル管の底部に、点火具を固定し、もう一方の端部から所定の破砕剤を詰め、上端も同様にゴム栓で密閉し、さらに上下端ともビニルテープ等で密閉し防水処置をする (写真 - 10)。

ビニル管に密閉した破砕剤、点火具を装薬ホルダーの底部に挿入し、リード線を上部に出した後、破砕剤の上部を粘土材で密閉し ($H = 30\text{ mm}$)、上から突き固める (写真 - 11) その上部にあらかじめ練り上げた超速硬無収縮モルタルを充填する (写真 - 13)。杭頭頂部は、ボイド材や塩ビ管などを型枠として、充填したモルタルが硬化後に拘束材として作用するように成形する。また、装薬ホルダー最上部には、抜け出し防止用のピンを差し込んでおく (写真 - 12)。



写真 - 10 破砕剤ユニット
(点火具共)



写真 - 11 タンピング
(粘土挿入後)



写真 - 12 抜け出し防止
ピンとモルタル用型枠材



写真 - 13 超速硬無収縮モルタルの充填

3.3 動的破砕

動的破砕は、一般的には明確に定義されていないが、火薬類などによる衝撃波を伴う破砕ではなく、音速以下のガス圧による瞬間的な破砕とされる。また、非火薬の破砕剤による動的破砕を行う場合、作業者は、特に法的な資格は必要ないが、メーカーが実施する取扱教育を受講しておく必要がある。また、破砕作業責任者は、火薬

類取扱保安責任者や発破技師，コンクリート破砕器作業主任者のいずれかの資格を有する必要がある。今回は，いずれの条件をも満たす作業主任者を採用した。

破砕作業は，まず，各装薬ホルダーから延伸されたりード線を直列に接続し，それを延長ケーブルで破砕信号機に接続する。

破砕を行う場合，当該の杭頭からは 40m 以上離れた位置で行う。また，破砕時の飛散・飛来防止のため，防爆シートや防音シートを当該杭頭に巻き，材端を防爆マット，土嚢などで覆う。（写真 - 15）

破砕は，当該杭の 40m 以遠に他作業者を移動させた後，拡声器などで周知させて安全を確保した状態で行った。

破砕後は，防爆材の外側に飛散・飛来がないことを確認してから，防爆材を取り外した。

3.4 杭頭処理

杭 No.24 の破砕前の状態を写真 - 14 に，防爆養生状況を写真 - 15 に，また，その破砕状態を写真 - 16 に示す。

実際の装薬量は，先行分の破砕状況より，杭 No.24 では標準量の 85% とし，各装薬孔あたり 245g（標準 1,158g/4×0.85）とした。ただし，装薬ホルダー 2 本については，コンクリートが内部に入り込み，深長が短くなっていたため装薬量を 245g の約 1/2 の各 130g とした。

破砕は，想定通り，鉛直方向に 4 分割され，側面が見えている側については，水平方向にも亀裂が見られた。

その後，分割された各杭頭片をクレーンで揚重したが，杭鉄筋が外側に開いているため鉄筋との付着が大きくなり，想定以上の荷重が掛かり，吊りアンカー（端部フック：D16，定着長 800mm 以上）を各片 2 箇所設けたものの，鉄筋が伸びきってしまいクレーンでは揚重できなかった。

そのため，杭頭外周のかぶり部分のコンクリートを斫り取り，内周側の杭頭片をバックホーとワイヤー掛けにより揚重した。なお，1 片目は，相互にもせり合っており，ワイヤー掛けもできないため，バックホーで鉛直方向の亀裂を広げて玉掛けが可能ないように隙間をつくり（写真 - 17），1 片目を揚重した。以降は，当該破砕片のかぶり部分の斫り取り 亀裂拡大 玉掛け 揚重・撤去の手順で作業を進めた（写真 - 18～写真 - 20）。



写真 - 15 防爆養生(杭 No.24)



写真 - 16 破砕状態:上面(杭 No.24)



写真 - 17 亀裂拡大
(杭 No.24)



写真 - 18 かぶり部分・
斫り取り(杭 No.24)



写真 - 19 破砕片揚重(杭 No.24)



写真 - 14 破砕前状態(杭 No.24)



写真 - 20 破砕片・格納

なお、過年度に行った杭径 1,500mm の実大試験体による破砕実験の状況を写真 - 21 ~ 写真 - 24 に示す。実験は水平破断方式の装薬ホルダー 2 ~ 4 本により破砕されたが、いずれも想定したレベル位置に水平破断面が形成され、破砕された杭頭部は、杭主筋に被覆された縁切り材により、フォークリフトで容易に揚重することができた。



写真 - 21 実大試験体



写真 - 22 防爆養生



写真 - 23 破砕後揚重



写真 - 24 破断面状態

表 - 1 騒音測定結果

施工順	杭番号	装薬量(g) ^{*1}	計測値 (dB(A))
1	No.13	928(80%)	104.2
3	No.16	1,040(90%)	101.9
4	No.11	980(85%)	99.0
5	No.12	980(85%)	95.3
6	No.26	980(85%)	98.9
7	No.25	980(85%)	96.8
10	No.9	980(85%)	89.9
13	No.8	980(85%)	80.2
14	No.21	980(85%)	101.1
15	No.7	980(85%)	101.4
16	No.20	980(85%)	84.4
17	No.19	980(85%)	105.2
18	No.18	980(85%)	95.9
19	No.5	980(85%)	97.9
20	No.3	860(74%)	98.5
21	No.17	980(85%)	80.9
22	No.15	860(74%)	94.9
23	No.1	980(85%)	93.9
24	No.2	860(74%)	90.8
26	No.6	895(77%)	108.2

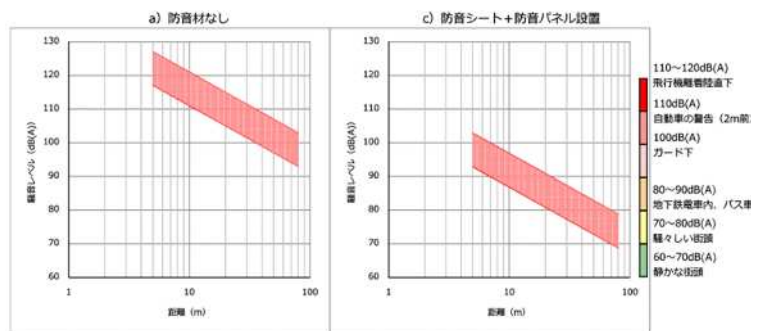
3.5 騒音測定結果

騒音測定結果を表 - 1 に示す。各欄には、杭番号と装薬量、騒音測定値を示している。

これより、測定結果の範囲では、最大 108.2dB(A)、最小 80.2dB(A) (装薬量が標準量の 70%未満となった杭頭破砕における測定データは削除している。)であった。なお、騒音測定は、破砕する杭頭の当該側面から 5 ~ 10m の位置で実施した。また、防爆養生は、各装薬孔の上に土嚢を置き、杭頭の上面・側面を防爆シート 2 枚で包み、その上に防音シートを 4 枚重ねて、そのシート端を土嚢などで押さえた。

図 - 3 に、防音シートと同パネルを施した場合の騒音予測グラフを示す⁴⁾。これらより、防爆・防音措置を講じることにより、騒音が 6 ~ 18dB(A)低減することが分かる。したがって、敷地境界から近い杭であっても「防音シート+防音パネル」の組合せにより 20dB(A)近く騒音レベルが低下すると予想されることから、今回の最大測定値 (108.2dB(A)) であっても、防音シートの枚数を増やすなどした場合、距離減衰と相まって敷地境界では規定値 (85dB(A)) 以下にできるものと予測される。

注] *1: ()内は標準装薬量に対する%を示す。



注1) 防音シートの音響透過損失6.2dB (100Hz) と防音パネルの音響透過損失18dB (100Hz) を見込む。

図 - 3 破砕時の騒音予測(防音シート+防音パネル)⁴⁾

4. まとめ

4.1 杭頭破砕

杭鉄筋がごに、水平・鉛直両方向方式の装薬ホルダーをあらかじめ仕込み、杭施工後に、杭頭部の装薬ホルダー上部から非火薬の動的破砕剤を装薬し、その上部を粘土材、超速硬無収縮モルタルで拘束した後、遠隔操作にて破砕させたところ、杭頭はいずれも鉛直方向に4分割(一部3分割)され、水平方向にも破砕ラインが形成されていた。

4.2 杭頭処理

本来ならば、杭頭に仕込んだ吊りアンカーで、4分割された破砕片をそれぞれ揚重し、一気に杭頭処理といくところを、今回は杭径が2,400mmと最大径であり、また、鉄筋も杭頭が現れた時点で、やや外側に倒れたり、掘削工事により折れ曲がったりして、付着切りのエスレンボイド材だけでは対処が難しい状態であった。また、解体片は、いずれも杭頭を4分割し、かつ水平破断もほとんどの杭体で見られたが、解体片同士もせり合うため、バックホーなどで位置をずらすなり、調整しないと揚重できない状態であった。

4.3 騒音

破砕時の騒音を測定したところ、測定値は、最大108.2dB(A)であったが、破砕工事中は、ほとんど苦情もなく、敷地境界付近における杭頭破砕も問題なく終えることができた。なお、今回は、防爆シートと防音シートで養生したが、これに防音パネルなどを使えば、例え測定値が100dB(A)を超えていても、20dB(A)程度低減されるので、防音シートの枚数を増やすなどした場合、敷地境界でも規定値(85dB(A))内に納めることが可能と予測される。

4.4 今後に向けて

今回の実施では、破砕については、ほぼ想定通りの現象が発生し、相応の効果が得られたと評しても過言ではないが、揚重・解体・撤去と言う流れにならなかったのが惜まれる。また、今回は装薬ホルダーを前施工で行ったが、杭施工と掘削工事の影響を受ける可能性が極めて高いため、後施工による工法を検討した方が不具合発生の可能性が小さいと考えられる。また、後施工の場合、杭中心部が使用できるため、装薬箇所での低減が図れるなど効率的な動的破砕が期待できる。杭主筋の頭つなぎ(倒れ、破損防止)、杭頭部におけるかぶりコンクリートと杭主筋全体との縁切りを行う(例えば、ポリエチレンフィ

ルム巻き)ことや杭主筋の縁切りを2重にする(エスレンボイド材+塩ビ管)など、他にも改良点が挙げられる。また、あらかじめ仕込んだ吊りアンカーも、鉄筋と杭頭部のせり合い、破砕片同士のせり合いなどにより、2倍以上の荷重が掛かるため、鉄筋の仕様を上げ、D19のU字形鉄筋を各片につき4本程度配置する、など改良を図る必要がある。

その他、現場担当者からも、(1)破砕時の退避時間の短縮、(2)水平方向破断線の精度向上、(3)杭本体天端外周部の破損防止、(4)装薬ホルダーの低コスト化、などの要望があった。

謝辞

本報告における実験実施にあたり、材工ともに多大な御協力をいただいたカヤク・ジャパンの中村聡磯氏、田中雅規氏、宇部興産の鳥原修氏、児玉亮治氏、および相模工業の長野正幸氏には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：簡易装薬ホルダー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
- 4) 竹内博幸、高橋祐一：動的破砕による杭頭処理工法の実用化に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、pp.619-620、2014.9