

余盛コンクリートを瞬間破砕する杭頭処理工法

Pile Head Demolition Method by Micro Blasting

杉下 紗恵子 柳田 克巳 中村 隆寛
福島 隆¹⁾ 加藤 昌章²⁾

要 約

杭頭の余盛り部分の解体はハンドブレイカーや重機ブレイカーによる研り作業で行われることが一般的であり、長時間に渡る騒音・振動や粉塵の発生による劣悪な作業環境が問題となっている。そこで、少量の爆薬・非火薬剤を使用してコンクリートを瞬時に細かく破砕することができる微小発破技術を用いて杭頭処理を行う瞬間破砕型杭頭処理工法を開発した。本工法を用いて杭頭処理の試験体実験及び現場適用を行い標準的な工法詳細を確立するとともに、装薬設計法を提案した。また、発破時に瞬間的に発生する騒音の大きさを把握し、問題ないレベルに留まることを明らかにした。

目 次

- I. はじめに
- II. 工法概要と作業手順
- III. 試験体実験の計画と結果
- IV. 現場適用の計画と結果
- V. まとめと今後の課題

I. はじめに

現在、杭頭の余盛り部分の解体はハンドブレイカーや重機ブレイカーによる研り作業で行われることが一般的である。この方法は、長時間に渡る騒音振動を伴うため、近隣からのクレーム要因となりやすい。また、防音養生・粉塵の飛散養生を設置して研り作業を行う場合があるが、密閉された囲いの中での作業は作業性が悪く環境も劣悪である。

研り作業に替わる作業方法として、コンクリート硬化時に膨張する破砕剤をあらかじめ鉄筋カゴに設置しておき、余盛コンクリートを破砕する研究¹⁾や、非火薬の破砕剤を簡易装薬ホルダーに装填して破砕を行う方法に関する研究²⁾がされている。

著者は、少量の爆薬・非火薬剤を使用してコンクリートを瞬時に細かく破砕することができる微小発破技術を応用して杭頭処理を行う瞬間破砕型杭頭処理工法を開発した。瞬時に破砕することで、騒音・振動の発生時間を短縮することができ、研り作業の省略により粉塵の発生の抑制と、作業環境の向上を実現できる。

本研究は瞬間破砕型杭頭処理工法の有効性と適用性を確認するとともに、その装薬設計法を提案することを目的としている。まず、

試験体実験にて切断解体が可能であることを確認し、次に実構造物においても同様に確認実験を行い、爆薬量と破砕性状の関係と作業効率、騒音・振動レベルを明らかにする。

II. 工法概要と作業手順

1. 工法概要

本工法の概要を Fig.1 に示す。図に示すとおり、まず杭頭の構造体天端（存置部分）と余盛コンクリートの境界面を非火薬破砕剤で水平に切断して縁を切り、微小な時間差（0.03秒後）において余盛コンクリートを少量の爆薬（導爆線）で人頭大のガラに破砕する工法である。なお、余盛部の破砕時に主筋が外周部に向かって曲がることを防ぐ目的で、アラミド製の繊維シートを余盛外周部に巻きつけて拘束しておく。

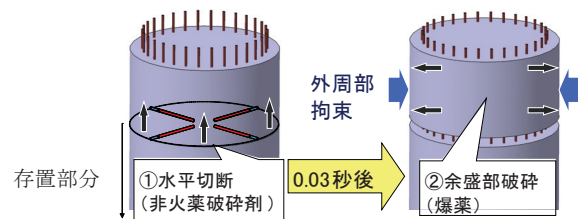


Fig.1 瞬間破砕型杭頭処理工法の概要
(Concept of Pile Head Demolition Method)

本工法で使用する非火薬破砕剤と爆薬を Photo 1 に、それぞれの特徴を Table 1 に示す。非火薬破砕剤は、組成に火薬類に属するものを含まない破砕剤である。破砕は、テルミット反応と呼ばれる酸

1) 建築管理本部 Building Construction Management Division

2) 東京建築支店 Tokyo Branch

キーワード: 杭頭処理, 瞬間破砕, 火薬

Keywords: Pile Head Demolition, moment crush, explosives

化還元反応で生じる瞬間的な蒸気の膨張圧によって起きる。反応速度は爆薬の1/25程度であり、衝撃波を生じないため、杭構造体部に損傷を与えることなく水平切断できる。一方、爆薬は組成にペンスリットを含むため火薬類に該当する。化学反応による燃焼が高速で進み、衝撃波を生じるため、非火薬破砕剤と比較して高い破砕力を有する。構造体と縁が切れた後の余盛部を、この高い破砕力を利用して人頭大のガラ状に破砕する。

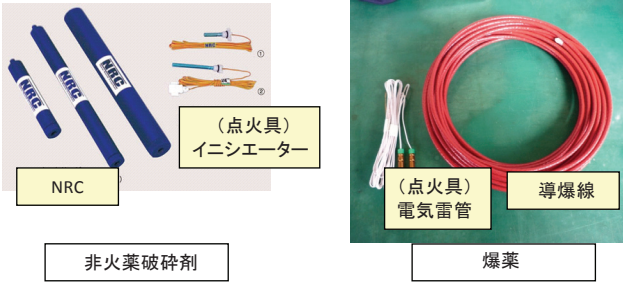


Photo 1 非火薬破砕剤と爆薬
(Non-explosives and Explosives)

Table 1 非火薬破砕剤と爆薬の特徴
(Feature of Non-explosives)

薬剤	組成	反応	性状
非火薬破砕剤	酸化銅 アルミニウム ミョウバン等	テルミット反応による燃焼により蒸気膨張圧を発生。衝撃波が出ない。反応速度は200~300m/sec	粉末状
爆薬	ペンスリット	化学反応による燃焼が音速を超え衝撃波と共に生じる爆轟を起こすガス圧を発生。反応速度は6000m/sec	線状

2. 作業手順

作業手順を Fig.2 に、各作業手順の詳細を以下に示す。

- ①鉄筋カゴへの仕込み：杭の鉄筋カゴ組立時にコンクリートとの付着を絶縁するために、余盛部の主筋に厚さ10mm程度の発泡ポリエチレン製のカバーを取り付ける。また、かぶり部の破砕に必要な爆薬を装薬するための中空チューブ（φ24mm程度のCD管など）を余盛部の主筋内側かららせん状に取り付けておく。事後の穿孔作業の数量を軽減する目的がある。
- ②穿孔作業：水平切断面に対しては杭の外周側から中心に向かって水平方向に、余盛破砕部に対しては余盛天端から鉛直方向にφ20mm程度の孔を穿孔する。
- ③非火薬破砕剤装薬：非火薬破砕剤に点火具を取り付け、水平孔に装薬し、砂を込めて栓をする。
- ④爆薬装薬・結線：爆薬に電気雷管を取り付け、垂直孔及びらせん状の中空チューブに装薬し、砂を込めて栓をする。その後、点火具及び電気雷管を直列回路で結線し、点火用の回路を作る。
- ⑤外周部拘束：アラミド製の繊維シートを余盛外周部に巻きつける。
- ⑥飛散防護・退避・点火：破砕時のガラの飛散を防ぐために、ゴムマットや防爆シートなどの防護材を破砕部に設置する。作業員の安全な場所への退避を確認後、点火を行う。
- ⑦発破後：安全に破砕が行われたかを確認し、防護材を撤去する。
- ⑧ガラ除去・完了：破砕された人頭大のガラを除去して杭頭処理作業が完了する。



Fig.2 作業手順
(Work Procedure)

Ⅲ. 試験体実験の計画と結果

1. 実験概要

本実験は、杭頭を模擬した試験体を用いて余盛部の破砕に必要な装薬量の下限值を確認し、適正装薬量を把握する目的で行った。

実験のパラメーターは

- ① 水平方向（水平切断用）の非火薬剤装薬量及び装薬本数
 - ② 鉛直方向（余盛部分破砕用）の爆薬装薬量及び装薬孔位置・装薬孔数
- とし、それぞれの破砕性状を確認した。

それぞれのパラメーターを設定した円柱型の RC 試験体（φ 1000 × H800~1600）7 体のリストを Table 2 に示す。また試験体の詳細を Fig.3, Fig.4, Fig.5 に示す

なお、水平方向の非火薬剤装薬量は水平切断面積あたりの薬量を（g/m²）、鉛直方向の爆薬装薬量は破砕体積当たりの薬量（g/m³）をそれぞれ単位として表している。

実験は、適切な水平切断の非火薬剤装薬量と装薬孔数を把握するための step1、余盛部分破砕用の爆薬装薬量及び装薬孔の位置を把握するための step2、水平・余盛部分両方に装薬し薬量の適切さを把握をする有筋の試験体 step3 に分けて実施した。また、試験体に用いたコンクリート及び配筋内容を下記 Table 3 に示す。

Table 2 試験体リスト
(Specimens List)

step 1 水平切断装薬量(非火薬材)確認					
配筋	試験体 No	φ (mm)	H (mm)	装薬孔数 (孔)	装薬量
無筋	①	1000	1600	3	200 (100)
	②			4	200
	③			6	200
step 2 余盛部破砕用装薬量(爆薬)確認用					
配筋	試験体 No	φ (mm)	H (mm)	装薬孔数 (孔)	装薬量
無筋	④	1000	800	3	100
	⑤			6	100
	⑥			7	112
step 3					
配筋	試験体 No	φ (mm)	H (mm)	装薬孔数 (孔)	装薬量
有筋	⑦	1000	1600	水平6	200
				鉛直5	165
				らせん部2	

Table 3 試験体のコンクリート及び配筋
(Concrete and Rebar Specifications)

使用コンクリート	設計基準強度 Fc36N/mm ² 36-18-20-H
配筋	主筋: 14-D29 試験体下部の帯筋: D13@100mm 鉄筋かぶり厚さ: 150mm

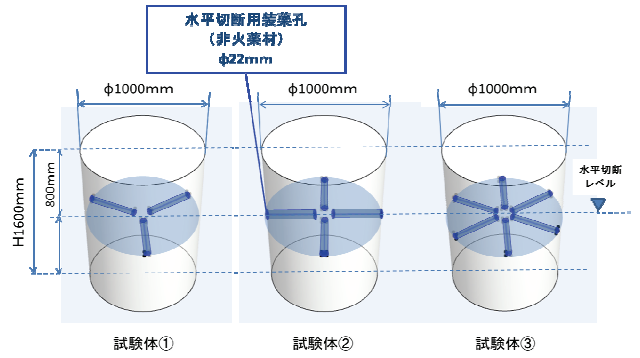


Fig.3 step1 水平切断確認用試験体（無筋）
(Specimens of Horizontal Cutting)

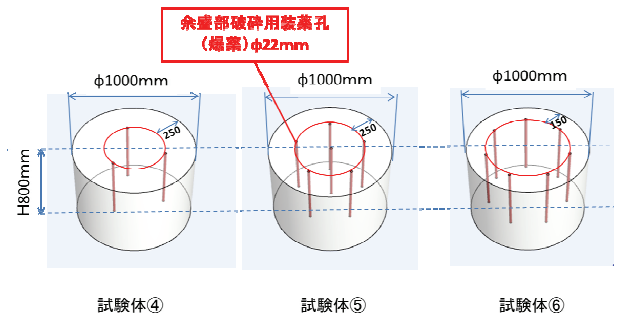


Fig.4 step2 余盛部破砕用装薬孔（爆薬）
(Specimens of Pile Head Breaking)

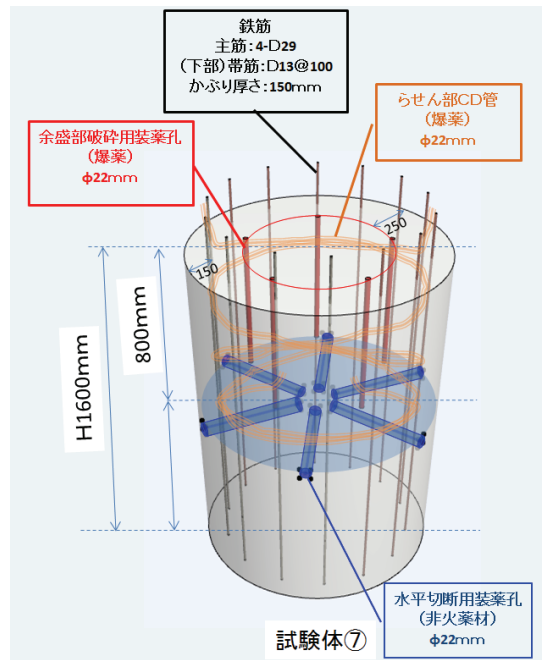


Fig.5 step3 水平・鉛直・らせん部 装薬試験体（有筋）
(Specimens Using Rebars)

上記①～⑦の試験体を下記の順に破砕した。
step1: 試験体①～③より水平切断を行うための適正な非火薬剤の装

薬孔数及び装薬量を把握する。

step2: 試験体④～⑥より無筋コンクリート（フープ筋の内部のコンクリートを想定）を破砕するための装薬量を確認する。また、装薬孔の位置による破砕形状の違いを確認する。

step3: step 1・2の結果より、水平切断の非火薬剤及び余盛部分破砕用の爆薬の適正な装薬方法を定め、試験体⑦に適用して、水平切断及び余盛部分の破砕結果を確認した。

3. 実験結果（破砕形状）

（1）step1の結果（試験体①～③）

試験体①～③の水平切断の結果を次に示す。

試験体①（Photo 2）は非火薬剤量 $100\text{g}/\text{m}^3$ を 3 孔に装薬し水平切断を試みたが切断できなかった。

試験体②（Photo 3）は非火薬剤量 $200\text{g}/\text{m}^3$ を 4 孔に分けて装薬した。水平切断されたが、切断後の杭天端は凹凸が残った。

試験体③（Photo 4）は②と同じ非火薬剤量 $200\text{g}/\text{m}^3$ を 6 孔に分けて装薬した。水平切断され、切断後の杭天端はハンドブレーカーによる在来工法と比較して遜色のない平滑度を得られた。



Photo 2 試験体実験①破砕結果
(No.1 Test Result)

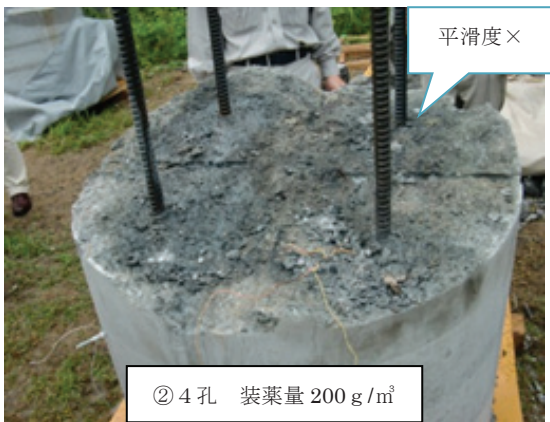


Photo 3 試験体実験②破砕結果
(No.2 Test Result)

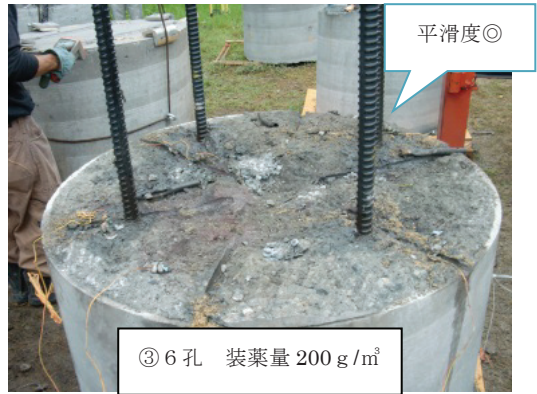


Photo 4 試験体実験③破砕結果
(No.3 Test Result)

（2）step2（試験体④～⑥）の結果

試験体④～⑥のそれぞれの破砕結果を次に示す。

試験体④（Photo 5）は爆薬装薬量 $200\text{g}/\text{m}^3$ を 3 孔に分けて装薬した。結果、3 孔をつなぐ形で亀裂が入り、全体が 500mm 以上の大きなガラに破砕された。

試験体⑤（Photo 6）は爆薬装薬量 $200\text{g}/\text{m}^3$ を 6 孔に分けて装薬した。結果、6 孔をつなぐ形で亀裂が入り、ガラの大きさにばらつきはあったが、全体的に④よりも細かく破砕された。

試験体⑥（Photo 7）は爆薬装薬量 $200\text{g}/\text{m}^3$ を試験体の外周寄りに配置した 7 孔に分けて装薬した。結果、中心部は 1 つの大きなガラとして残り、装薬よりコンクリートの厚みが薄い外側が細かいガラに破砕された。



Photo 5 試験体実験④破砕結果
(No.4 Test Result)

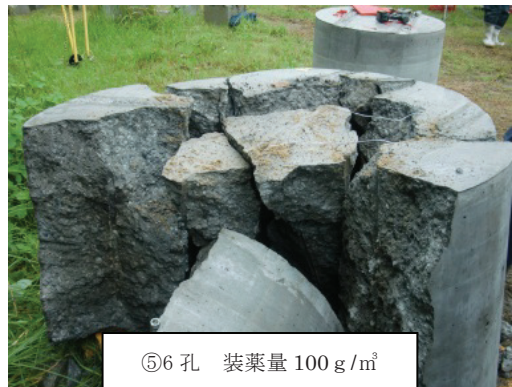


Photo 6 試験体実験⑤破砕結果
(No.5 Test Result)



Photo 7 試験体実験⑥破砕結果
(No.6 Test Result)

(3) step3の結果

step3では、step1及びstep2の結果を受けて装薬量を決定した。水平切断のための非火薬剤量はstep1の結果より200g/m³を5孔に装薬し、余盛部分の主筋内部のコンクリート破砕のためにstep2の結果より100g/m³を鉛直方向の装薬孔に装薬し、更に別途実施した実験結果よりかぶりコンクリート破砕用のCD管に66gを装薬し、爆薬の合計装薬量を165g/m³とした。

有筋試験体⑦(Photo 8)はかぶり部分は比較的大きなガラに破砕され、アラミドシート撤去時に剥がれ落ちた。フープ筋内部はこぶし大～人頭大の小さなガラに破砕された。



Photo 8 試験体実験⑦破砕結果
(No.7 Test Result)

4. まとめ

当実験より、水平切断の非火薬剤は200g/m³、鉛直方向及びらせん部の合計の爆薬は165g/m³以上と設定することで適切な破砕が可能であることが分かった。(Table 4)

装薬孔数については水平方向の切断可能な最低装薬孔数は4箇所(φ1000)であった。ただ、4孔では切断面に平滑さが得られず、6孔で切断するのが現実的であるという結果になった。

同装薬量でも孔数が多く、細かく装薬された方が平滑に切断されることが分かった。鉛直方向の装薬孔数については装薬数3孔・6孔のどちらの場合でも破砕が可能であったが、同装薬数量でも装薬孔数が多い方がより細かく破砕される結果になった。また、装薬した孔からのコンクリートの厚みが薄い方に発破の力が働き、細かく

破砕される結果になった。逆にコンクリートの厚みが厚い方には亀裂が入らず、大きなガラとして残留する。

なお、当工法を用いた場合の杭本体の健全性(コンクリート強度、鉄筋の引張り強度)については、別試験体を用いて問題がないことを確認済である。

Table 4 実験結果(適正装薬量)
(Appropriate Charging Amount)

装薬部位		適正装薬量		適正装薬孔数
水平切断	水平方向 (非火薬剤)	200g/m ³		6
余盛部破砕	鉛直方向 (爆薬)	37.5g (≒100g/m ³)	(合計) 165g/m ³	5
かぶりコンクリート破砕	らせん部※ (爆薬)	66g		

※らせん部分の適正装薬量は別途実験にて確認済み。

IV. 現場適用の計画と結果

1. 適用計画

市街地の病院建替計画の杭頭処理工事において、73箇所、φ1300mmの杭頭余盛部分を対象に本工法を適用した。対象杭の概要はFig.6, Photo 9, Table 5のとおりである。

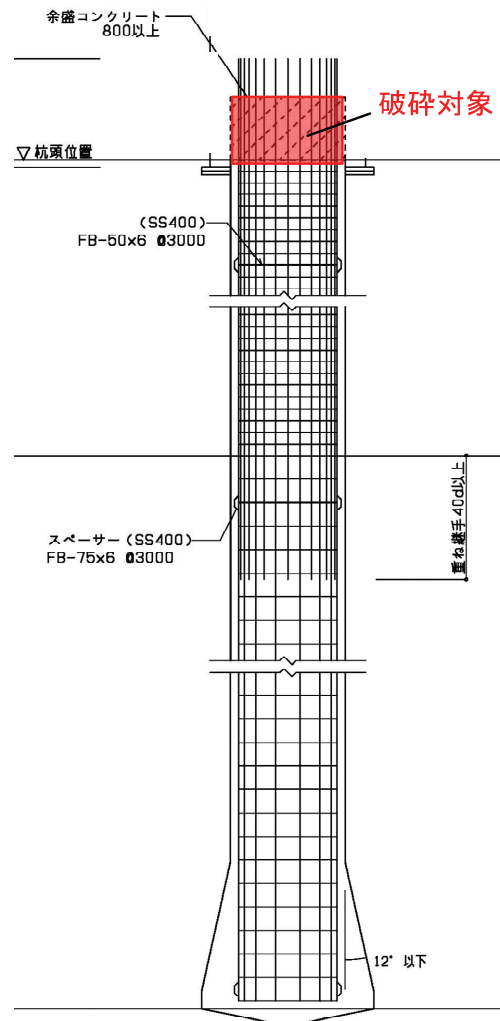


Fig.6 杭頭概要
(General View of Pile Head)

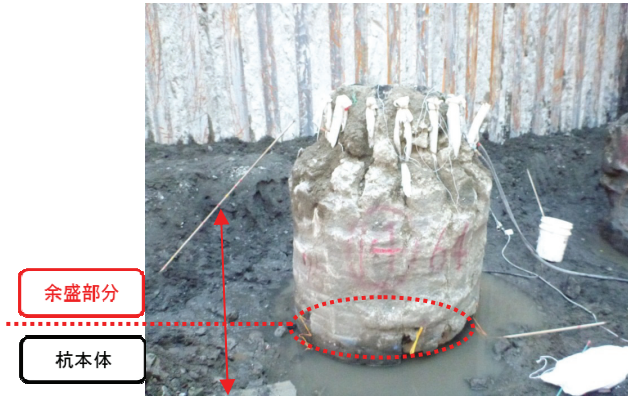


Photo 9 破碎対象(杭頭余盛部分)
(Pile Head to be Demolished)

Ⅲの試験体実験の結果を基に下記のように装薬設計を行った (Fig.7, Fig.8)。水平方向を切断する非火薬剤は6孔に分けて装薬し、装薬量 200g/m²とする。爆薬(導爆線)に関しては標準装薬量を、165g/m²以上とした。実際の杭は1本ずつ余盛高さ及びかぶり厚さ(杭径)が大きく異なっているため、杭の実寸に応じて装薬長さのルールを規定し装薬量を調整した (Fig.7)。鉛直方向の爆薬は6孔に分けて装薬し、らせん部分のCD管には導爆線を2孔に装薬をする。鉛直方向の爆薬は、余盛高さから杭天端からのクリアランス0.2mと余盛天端から砂込め長の0.3mを引いた長さを装薬長とした。

らせん部の爆薬は、杭打設前にあらかじめ仕込んだCD管の長さを検尺し、検尺長から砂込め長さ0.3mを引いた長さを装薬長とした。

なお、鉛直装薬は杭の外周寄りに行い、内側の芯の部分は大ガラとして吊取って搬出する計画とした。

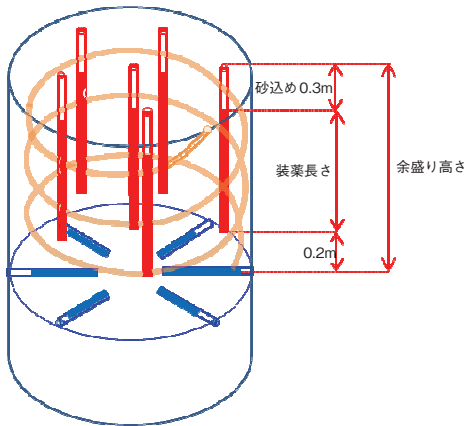
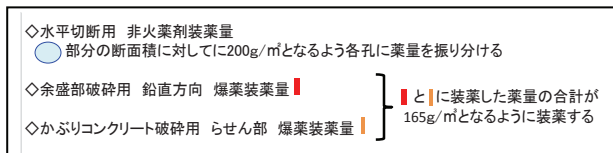


Fig.8 装薬設計図
(Charging Planning)

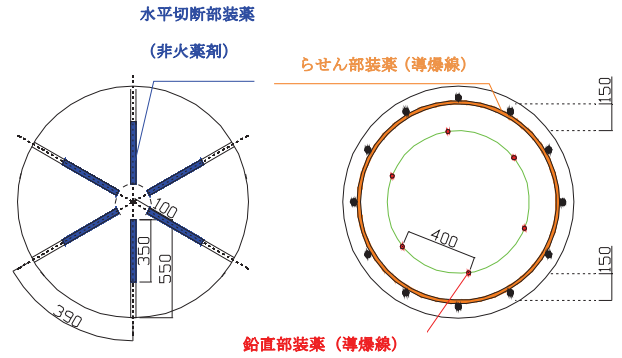


Fig.7 装薬概念図
(Concept of Charging)

現場適用した73本の杭の余盛のうち3箇所について、杭の実測寸法及び装薬量を例として Table 5, Table 6 に記す。おおよそ実験Ⅲの結果のとおり、鉛直方向及びらせん部分の導爆線の合計装薬量は165g/m²以上となった。

Table 5 杭頭実寸法
(Measured Size of Pile Head)

部材No.	1	2	3
直径(m)	1.3	1.6	1.6
破碎部高さ(m)	1.5	1.1	1.25
切断面積(m ²)	1.3	2.0	2.0
破碎容量(m ³)	2.0	2.2	2.5

※3本抜粋(73本中)

Table 6 装薬量
(Charging Amount)

水平切断用装薬(非火薬剤)						
部材No	水平切断部面積(m ²)	装薬孔数(孔)	合計穿孔長(m)	総装薬長(m)	総装薬量(g)	非火薬剤量(g/m ²)
1	1.3	6	4.2	2.7	260	200
2	2.0	6	4.1	2.6	400	
3	2.0	6	4.2	2.7	400	
余盛部分・かぶりコンクリート破碎用 鉛直部・らせん部装薬(爆薬)						
部材No	部位	装薬孔数(孔)	穿孔長(m)	装薬長(m)	総装薬量(g)	爆薬量(g/m ²)
1	らせん	2	13.6	13.2	264	192
	鉛直	7	7.7	5.6	112	
	合計		21.3	18.8	376	
2	らせん	2	14.6	14.2	284	191
	鉛直	7	8.8	6.7	133	
	合計		23.4	20.9	417	
3	らせん	2	14.6	14.2	284	168
	鉛直	7	8.8	6.7	133	
	合計		23.4	20.9	417	

適用時に以下の3点について計測・確認を行う。

- ①破碎性状：発破後のガラの大きさ及び亀裂の入り方について目視で確認を行う。
- ②発破時の騒音値：発破場所から15m~200m離れた6地点で騒音値(dB)の計測を行う。測定は Fig.9 の騒音計測機を用いて、発破場所からの距離が15m, 20m, 30m, 140m, 150m, 200mの6箇所にて行った。6点のうち、距離30m以下の測定箇所は仮囲い内部である。
- ③作業効率(時間)の把握：穿孔作業、装薬発破作業、防護養生、

2次解体作業のそれぞれの作業時間を杭3本について計測し、平均時間を求めて作業効率を把握する。

2. 適用結果

(1) 破砕性状

破砕の結果、Photo 10のように、かぶりコンクリートが養生と共にはがれ落ち、内部コンクリートは鉛直装薬部の外側は小さなガラに粉砕された。

2次解体は中心部の大ガラの搬出と杭天端の仕上げ研りのみ行い、小割の作業は不要となった。



Photo 10-1 破砕後の状況 (Demolition Result)



Photo 10-2 破砕後の状況 (Demolition Result)

(2) 騒音値測定結果

現場周辺において発破時の最大騒音レベル (dB) を Fig.10 に示す。騒音レベルは測定距離が 30m 以内 (仮囲いの内側) では 90dB~110 dB と高い値だったが、測定距離 30m~200m の範囲 (仮囲い外部) においては 85 dB を下回る値になった。また、発破場所からの距離が大きくなるほど騒音レベルは小さくなることが確認された。騒音は発破時の1瞬のみ発生するため、定常的に騒音が発生する従来のハンドブレイカーでの研り作業ができない条件で当工法の採用が効果的である。

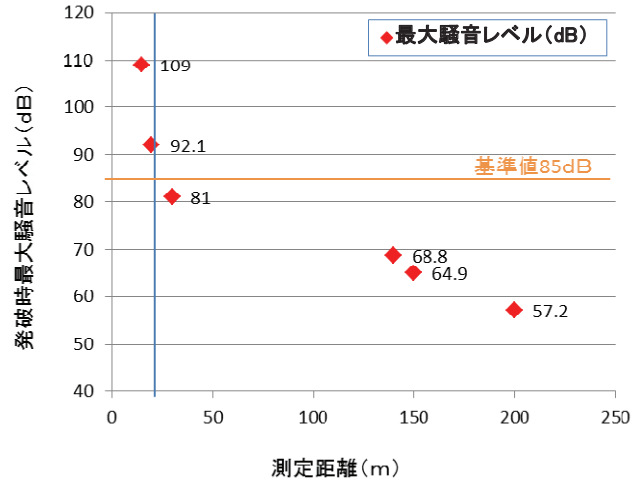


Fig.10 騒音 (人頭大~こぶし大程度のガラに破砕され、主筋との付着を切ることができた。)

(3) 作業効率

杭頭1箇所あたりの平均作業時間は Table 7 のようになった。今回計測した作業時間には準備時間やガラの搬出に関する時間を含めていない。杭頭1箇所あたりの総作業時間 (穿孔作業⇒発破⇒仕上げ研りまで) の平均は全ての作業を1人で行うとして換算すると358分 (約6時間) であり、約0.75人工/本であった。作業毎の施工時間を比較すると、加工・装薬と養生・発破の作業時間が大きな割合を占めていることがわかる。また、水平穿孔と鉛直穿孔の作業時間を比較すると、水平穿孔 (手穿孔) は平均 10min/1孔 (≒53分÷6孔)、鉛直穿孔 (機械穿孔) は4分/1孔 (≒20分÷6孔) であり、穿孔時間に大きな差がある。水平穿孔箇所を減らす方が作業時間の短縮効果が大きいといえる。

Table 7 杭頭1箇所あたりの平均作業時間 (分) (Average Work Time for Pile Head Demolition)

穿孔~発破 (平均時間)	水平穿孔	53
	鉛直穿孔	20
	加工・装薬	76
	養生・発破	118
	小計(平均)	267
研時間小計(平均)		91
作業時間合計(平均)		358

ハンドブレイカーで行う在来工法の解体では、過去のデータによれば同じ杭頭サイズで約1人工/本程度で有り、本工法を用いたほうが作業効率が向上すると言える。

V. まとめと今後の課題

試験体実験及び現場適用の結果分かった事項は以下のとおりである。

- ・水平切断の非火薬剤は 200g/m²、鉛直方向の爆薬は有筋の杭頭の場合 165g/m²以上で十分な破砕が可能である。

- ・装薬孔数について、水平切断に関しては同装薬量でも装薬孔数が多い程平滑に切断され、鉛直方向の装薬に関しては装薬孔数が多い方がより細かく破碎される。φ1000mm～φ1300mmの杭の場合はそれぞれ、水平6孔、鉛直6孔程度が適当である。
- ・発破時の騒音レベルは、測定距離30m以下で90dB～110dB、測定距離30m以上では85dBを下回った。
- ・作業時間に関して、加工・装薬及び防護養生の施工時間が大きな割合を占めており、これらの作業の効率化が本工法のさらなる効率化に有効である。

参考文献

- 1) 山田荘太, 佐藤雅男; 場所内コンクリート杭々等処理への静的破碎剤の利用, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991.9., pp.515-516.
- 2) 竹内博幸, 高橋祐一; 動的破碎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, 2013.8, pp.235-236.

Pile Head Demolition Method by Micro Blasting

*Saeko Sugishita, Katsumi Yanagita, Takahiro Nakamura, Takashi Fukushima¹⁾
and Masaaki Kato²⁾*

Dismantling of pile head is conventionally implemented by using hand breaker, but there have been serious problems of harsh work conditions due to dust and the noise and vibration generation over a long period of time. Therefore, the authors developed Pile Head Demolition Method by micro blasting using the minimum amount of gunpowder and non-explosive materials. With this method, pile head concrete can be crushed into small blocks in a moment so that the construction noise and vibration time can be remarkably decreased. The authors have implemented various experiments and applied this method to the actual piles constructed in sites. As a result, the effectiveness of the new method was confirmed and the original design method for explosives was established.