

余盛コンクリートを瞬間破碎する杭頭処理工法

鹿島 カット&クラッシュ工法

中 村 隆 寛・柳 田 克 巳・福 島 隆

杭頭の余盛コンクリートの解体は、従来はハンドブレーカを用いた研り作業にて行われてきたが、工事現場周辺への長期間にわたる騒音や粉塵の発生、また労働集約的な作業で効率が低いことに加え、作業環境の悪さが問題となっていた。そこで、非火薬破碎剤と少量の爆薬を用いて、一瞬で杭頭の余盛コンクリートを破碎する瞬間破碎型の杭頭処理工法を開発した。余盛コンクリートを瞬時に小さなガラ状に破碎することができるため、騒音の発生時間を大幅に短縮することができる。本報では、考案した装薬方法の試験体実験結果、実工事への適用事例の概要、騒音レベルの測定結果、作業時間の測定結果について報告する。

キーワード：杭頭処理、解体、騒音低減、微小発破、余盛コンクリート

1. はじめに

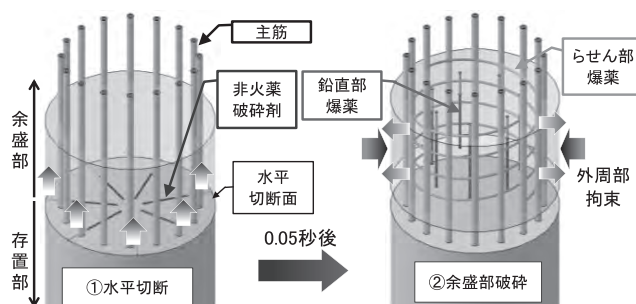
現在、杭頭の余盛コンクリートの解体はハンドブレーカなどによる研り作業で行われることが一般的である。しかし、研り作業中は大きな騒音が発生するため、近隣環境への影響が少ない低騒音の解体方法が求められている。低騒音の解体方法には、静的破碎剤にて破碎し、クレーンで吊り取るなどして除去する方法¹⁾や、余盛コンクリートが硬化する前にバキューム車を用いて吸引除去する工法²⁾などがある。これらの解体方法では、施工現場の仮設計画や杭天端レベルなどの施工条件により適用範囲が制限されることが課題である。筆者らは、低騒音で汎用的に適用可能な解体方法として、極少量の爆薬を用いた鉄筋コンクリートの微小発破解体技術³⁾を応用した瞬間破碎型杭頭処理工法（以下、本工法という）を考案した。

本報では、本工法の概要、考案した装薬方法による破碎状況の確認を行った試験体実験、工法の有効性の把握を目的に実施した実工事への適用事例における装薬方法と破碎結果、騒音測定結果、作業測定結果について報告する。

2. 工法の概要

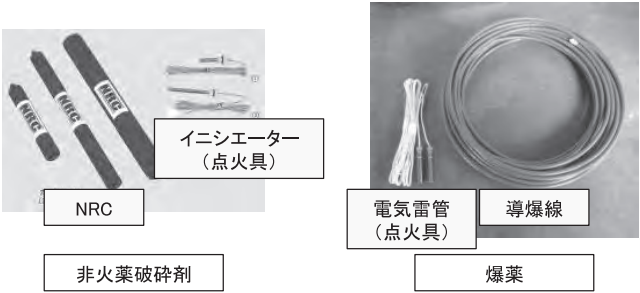
本工法は、少量の爆薬および非火薬破碎剤を使用し一瞬で余盛コンクリートを切断し破碎する工法である。その概要を図—1に示す。

本工法では、①非火薬破碎剤を用いた杭の存置部と



図—1 瞬間破碎型杭頭処理工法の概要

余盛部の「水平切断」、②約0.05秒後に少量の爆薬を用いた「余盛部破碎」の2段階の手順で解体する。①に用いる非火薬破碎剤は杭の外周部から中心に向けて穿孔して装薬する。②に用いる爆薬は、かぶりコンクリートの破碎を担うらせん部と鉄筋かご内部のコンクリートの破碎を担う鉛直部に分けて装薬する。らせん部の爆薬は、あらかじめ鉄筋かごにらせん状に取り付けたCD管内に装薬する。鉛直部の爆薬は余盛部天端から鉛直方向に穿孔した装薬孔に装薬する。破碎時には、余盛部の主筋の変形を防ぐ目的で、余盛部の外周にアラミド製の繊維シートを巻きつける。本工法で使用する非火薬破碎剤と爆薬を写真—1に、特徴を表—1に示す。非火薬破碎剤は、蒸気の瞬間的な膨張圧を利用して破碎する。反応時に衝撃波を生じないため、存置部に損傷を与えずに水平切断できる。爆薬は導爆線を用いる。反応速度が非常に早く、衝撃波を生じるため、非火薬破碎剤に比べ高い破碎力を有する。余盛部は、この高い破碎力を利用して破碎する。



写真—1 非火薬破砕剤と爆薬の形状

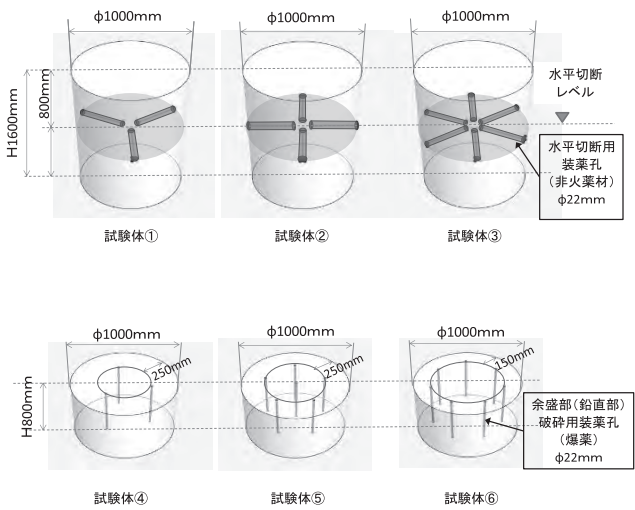
表—1 非火薬破砕剤と爆薬の特徴

薬剤	商品名	組成	反応	性状
非火薬破砕剤	NRC	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 ～ 300 m/sec	粉末状
爆薬	導爆線	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 6,000 m/sec	線状

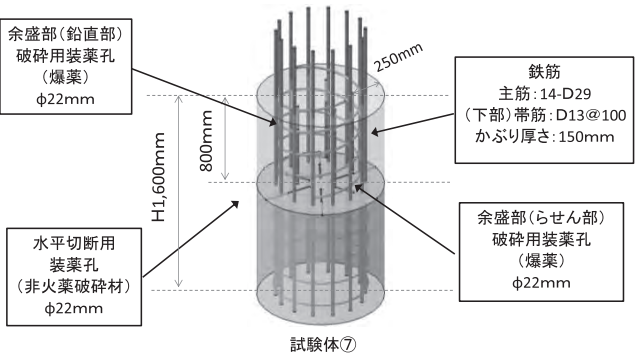
3. 試験体破砕実験による確認

(1) 目的と実施方法

想定した解体の実現に必要な装薬量の把握を目的に、試験体実験を実施し、破砕結果を目視にて確認した。実験は、表—2 に示す装薬孔数と発破係数をパラメータとした試験体を用いて3つのステップに分けて実施した。発破係数は、装薬量を示す指標であり、水平切断は水平切断面積当たりの非火薬破砕剤の薬量 (g/m^2) とし、余盛部破砕は破砕体積当たりの爆薬の薬量 (g/m^3) としている。ステップ1では、非火薬破砕剤の装薬量と装薬孔数による水平切断結果の差異について確認した。図—2 に装薬方法を示す。ステッ



図—2 ステップ1・ステップ2の装薬方法



図—3 ステップ3の装薬方法

プ2では、鉄筋かご内を模擬し、爆薬の装薬量と同心円状に配置した装薬孔の位置による破砕結果の差異について確認した。図—2 に装薬方法を示す。ここで発破係数は、微小発破解体技術から得られた実績³⁾に基づき決定した。ステップ1・2の結果をもとに非

表—2 試験体リスト

ステップ	配筋	試験体 No.	直径φ (mm)	高さ H (mm)	装薬孔数 (箇所)	発破係数	単位	
ステップ 1 水平切断装薬量確認 (非火薬破砕剤)	有筋 主筋：4-D29	①	1,000	1,600	3	100	g/m ²	
		②			4	200		
		③			6	200		
ステップ 2 余盛部（鉛直部）破砕装薬量確認 (爆薬)	無筋	④		800	3	100	g/m ³	
		⑤			6	100		
		⑥			7	112		
ステップ 3 水平切断・余盛部破砕装薬量確認 (水平：非火薬破砕剤，余盛部：爆薬)	有筋 (※)	⑦		1,600	水平：6	200	g/m ²	
					鉛直部：5	165	g/m ³	
					らせん部：2			
コンクリート		Fc 36 N/mm ² ，36-18-20（H）						
配筋（※ステップ 3）		主筋：14-D29，帯筋：D13@100 mm，かぶり厚さ：150 mm						

火薬破砕剤および爆薬の装薬方法を定め、ステップ3では、破砕結果を実際の杭頭を模擬した有筋の試験体を用いて破砕結果を確認した。なお、らせん部の装薬量は別途検討した実験の結果を適用することとした。図—3に装薬方法を示す。

(2) 実験結果と考察

(a) ステップ1・ステップ2

破砕結果と破砕後の状況を表—3に示す。ステップ1の結果から、水平切断の非火薬破砕剤の発破係数は 200 g/m^2 にて切断可能であることが分かった。装薬孔数の違いにより、切断後の水平切断面の平滑度が異なる結果となった。水平切断の平滑度が高いと、破砕後の斫り作業の手間低減が期待でき、6孔設けた方がよいと判断した。ステップ2の結果から、鉛直方向の爆薬の発破係数は 100 g/m^3 にて破砕が可能であることが分かった。装薬孔数の違いは、同発破係数でも装薬孔数が多い方がより細かく破砕される結果となったが、6孔より少ない孔数でも、その後のガラの除去・運搬が容易となるよう、十分小さく破砕されると判断した。以上の結果より、表—2に示すステップ3の発破係数と装薬孔を決定した。余盛部の破砕は別途検討したらせん部の装薬係数と合わせ、 165 g/m^3 とした。

(b) ステップ3

破砕結果を写真—2に示す。目立った凹凸はなく水平に切断された。余盛部は鉛直部とらせん部を合わせた発破係数を 165 g/m^3 とすることで、かぶり部は



写真—2 ステップ3の破砕結果

比較的大きなガラに破砕され、鉄筋かご内部は人頭大以下のガラに破砕された。本実験の結果から杭径 $\phi 1,000\text{ mm}$ の場合に、後処理を容易とするための装薬方法が得られた。

4. 現場適用

(1) 杭頭処理工事の概要

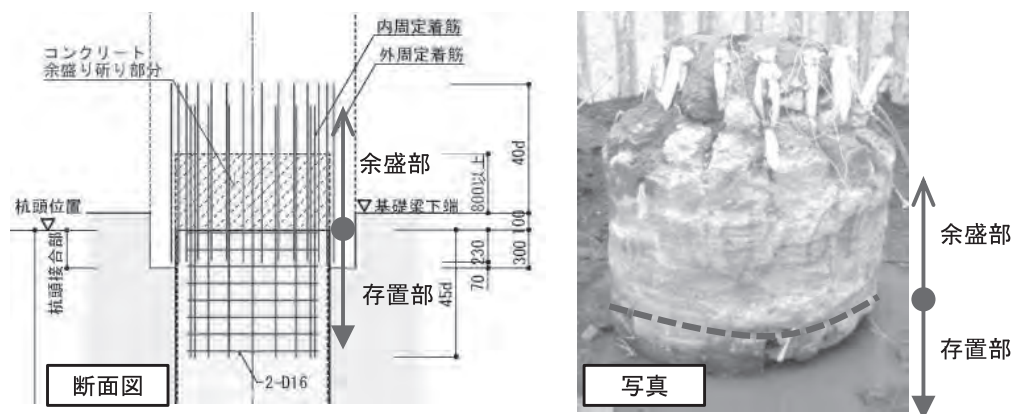
市街地の杭頭処理工事において、本工法を73か所の杭頭処理工事に適用した。対象杭の概要を図—4に示す。設計杭径は $\phi 1.3\text{ m}$ 、余盛高さは 0.8 m 以上である。なお、余盛コンクリートの解体は、杭主筋の内側の部分を大ガラとして吊り取って搬出する計画であった。

(2) 装薬設計

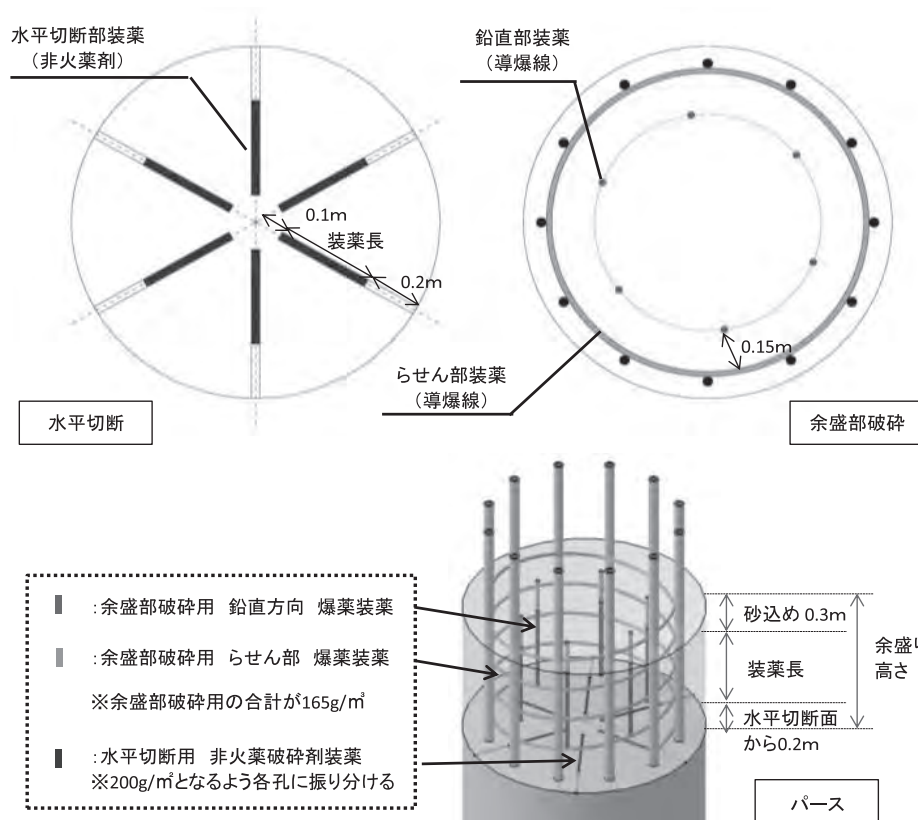
装薬方法は、試験体実験の結果に基づいて、図—5に示す通りとした。水平切断のための非火薬破砕剤は6孔に分けて装薬した。余盛部破砕のための爆薬は、

表—3 ステップ1・ステップ2の破砕結果

試験体 No.	破砕結果	写真	試験体 No.	破砕結果	写真
①	切断できなかった		④	3孔を繋ぐ形で亀裂が生じ、500mm以上のガラに破砕された	
②	水平に切断されたが、水平切断面に凹凸が目立ち、十分な平滑度が得られなかった		⑤	6孔を繋ぐ形で亀裂が生じ、ばらつきはあるものの④より細かく破砕された。孔数は過多であると判断される	
③	水平に切断され、目立った凹凸はなく、従来工法と比較して遜色のない平滑度を得られた		⑥	中心部は1つの大きな塊として残り、装薬孔の外側は細かいガラに破砕された	



図—4 杭頭概要



図—5 装薬設計図

かぶりコンクリート破碎のためのらせん部への装薬と、鉄筋かご内部のコンクリート破碎のための鉛直部への装薬に分け、鉛直部は6孔に分けて装薬した。但し、実際の杭形状は施工誤差によるばらつきがあるため、実際の寸法に応じて装薬量を調整した。

装薬量は水平切断の非火薬破碎剤の発破係数を 200 g/m^2 とし、余盛部破碎の爆薬の発破係数は、らせん部と鉛直方向の合計が 165 g/m^3 以上となるようにした。装薬量は装薬長の単位長さ当たりの装薬量を増減することで調整した。水平切断の装薬孔は、杭中心から 0.1 m の位置を先端として穿孔し、穿孔長さから砂込め長 0.2 m を減じた長さを装薬長とした。らせん

部の装薬は、余盛部に埋め込まれた CD 管の長さを実測し、砂込め長 0.3 m を減じた長さを装薬長とした。鉛直部の装薬は、存置部からの高さ 0.2 m の位置が孔底になるように穿孔し、砂込め長 0.3 m を減じた長さを装薬長とした。現場適用した 73 本の杭の余盛部のうち 3 か所について抜粋して、杭の実測寸法および実際の装薬量を表—4 に例示する。寸法が異なる杭においても、想定した装薬方法にて、一様な破碎結果が得られるかを確認した。

(3) 測定計画

以下の3点について計測・確認を行った。

表—4 杭の実測寸法および装薬量（3本の抜粋）

部材 No.		1	2	3	
実験 要因	杭の 実測寸法	直径 (m)	1.3	1.6	1.6
		余盛部高さ (m)	1.5	1.1	1.3
		水平切断面積 (m ²)	1.3	2.0	2.0
		余盛部容量 (m ³)	2.0	2.2	2.5
実験 条件	水平 切断部	装薬孔数 (孔)	6	6	6
		水平部合計穿孔長 (m)	4.2	4.1	4.2
		非火薬破砕剤総装薬量 (g)	260	400	400
		発破係数 (g/m ²)	200	200	200
	余盛部 破砕	らせん部装薬箇所数 (箇所)	2	2	2
		らせん部合計長さ (m)	13.6	14.6	14.6
		らせん部爆薬総装薬量 (g)	264	284	284
		鉛直部装薬孔数 (孔)	7	7	7
		鉛直部合計穿孔長 (m)	7.7	8.8	8.8
		鉛直部爆薬総装薬量 (g)	112	133	133
		発破係数 (g/m ³)	192	192	168

- ①破砕性状：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った。
- ②発破時の騒音レベル：発破場所から 15 m, 20 m, 30 m, 140 m, 150 m, 200 m の 6 点で騒音レベルを騒音計を用いて計測した。なお、距離 30 m 以

上の 4 点は仮囲い外部の測定箇所である。

- ③作業時間：穿孔、火工・装薬、防護養生・発破、その後の斫り作業のそれぞれの所要時間を杭 3 本について計測し、平均所要時間より作業時間を把握した。作業手順は図—6 に示す通りとした。

5. 適用結果

(1) 破砕性状

破砕の結果の一例を写真—3 に示す。いずれの杭においても同様な破砕結果となった。水平切断部は平滑で、かぶりコンクリートがはがれ落ち、鉄筋内部のコンクリートは鉛直装薬部の外側が小さなガラに粉砕され、それより内部は想定通り大ガラとして残った。その後は中心部の大ガラの搬出と杭天端の仕上げ斫りのみ行い、小割の作業は不要となった。

(2) 発破時の騒音レベル

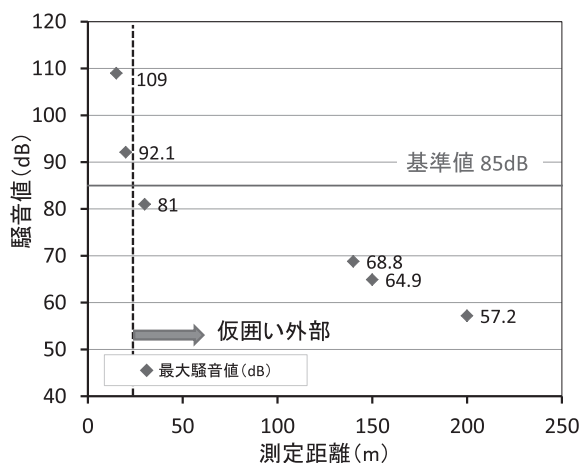
発破時の最大騒音レベルの測定結果を図—7 に示す。騒音レベルは、仮囲い内部の測定距離 30 m 未満では 90 dB ~ 110 dB と高い値であったが、仮囲いで



図—6 作業手順



写真—3 破砕結果

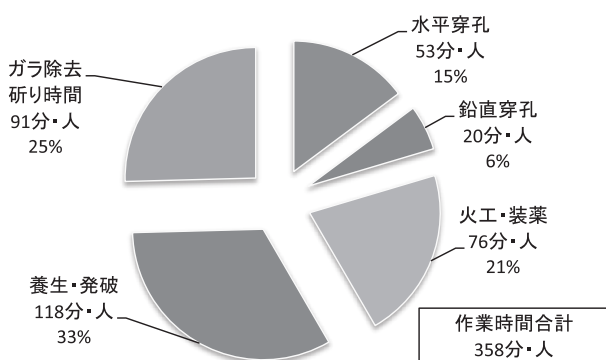


図—7 騒音レベル測定結果

10 dB 程度低減され、騒音規制法の対象となる仮囲い外部の測定距離 30 m ～ 200 m の範囲では規制値である 85 dB を下回る値となった。

(3) 作業時間

杭頭 1 箇所あたりの平均作業時間の測定結果を図—8 に示す。今回計測した作業時間には準備作業やガラ搬出の時間を含めていない。杭頭 1 箇所あたりの総作業時間の平均は 358 分（約 6 時間）であり、約 0.75 人工に相当する。ハンドブレイカで行う在来工法の解体では、既往の実績によれば同じ杭頭サイズで約 1 人工／本程度である。本工法の採用によって 25% の作業工数削減効果を確認した。作業毎の施工時間を比較すると、「火工・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



図—8 杭頭 1 箇所あたりの平均作業時間

穿孔（手穿孔）は平均 10 分／孔、鉛直穿孔（機械穿孔）は 4 分／孔であり、穿孔速度に大きな差が生じた。この結果から、水平穿孔箇所を減らす対策が作業時間を短縮する効果が高いと分かった。

6. おわりに

考案した瞬間破碎型の杭頭処理工法の概要を示し、試験体実験により、破碎に必要な発破係数と孔数を得た。また、現場適用の結果、以下を確認した。

- ・本現場の実部材において、想定した装薬方法にて良好な水平切断および破碎が可能
- ・杭頭の余盛コンクリートの容積が異なっても発破係数を指標とした装薬設計が可能
- ・大きな騒音の発生は発破時のみであり、騒音レベルの最大値は、騒音規制法の規制値を下回る
- ・従来工法と比較して 25% の作業工数削減効果がある

J C M A

《参考文献》

- 1) 佐藤雅男ほか：場所打ちコンクリート杭、連続壁東部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，1989.8
- 2) 起橋考徳ほか：バキューム処理した杭頭コンクリートの品質，日本建築学会大会学術講演梗概集，2004.8
- 3) 中村隆寛・柳田克巳ほか：微小発破を用いた解体工法に関する研究，建築生産シンポジウム論文集，2013.6

【筆者紹介】



中村 隆寛（なかむら たかひろ）
鹿島建設㈱
技術研究所 先端・メカトロニクスグループ
主任研究員



柳田 克巳（やなぎた かつみ）
鹿島建設㈱
建築管理本部 建築技術部 技術企画グループ
グループ長



福島 隆（ふくしま たかし）
鹿島建設㈱
建築管理本部 建築技術部 技術コンサルグループ
担当部長