

動的破碎による杭頭処理工法における装薬条件の最適化と余盛部分の小割方法に関する検討

鶴田 聡* 竹内 博幸*
 鶴見 淳也*

要旨

著者らは、これまでに動的破碎による杭頭処理工法において、杭径 $\phi 1,200\text{mm}$ の杭に対し、装薬孔の本数を4本、装薬量を破断面の単位面積に対して $256\text{g}/\text{m}^2$ とした条件で、装薬孔長率(杭半径に対する装薬孔長の比)を90%前後、込め物長率(装薬孔長に対する込め物長の比)を40%前後とすることで、杭本体と余盛部分を安定的に水平破断できることをこれまでに明らかにした。本検討では、装薬条件のさらなる最適化と、水平破断された余盛部分を原位置にて小割する方法について、杭径 $\phi 1,200\text{mm}$ から杭径 $\phi 1,500\text{mm}$ までの杭を対象として検討した。その結果、装薬孔数および装薬量を指標として、杭本体と余盛部分とを水平に破断し、水平破断された余盛部分を原位置にて小割できることを明らかにした。

1. はじめに

著者らは、動的破碎による杭頭処理工法において、杭鉄筋の組立時に装薬ホルダを取り付け、杭頭を破碎する工法から、杭頭の出後に横孔を削孔し、余盛部分を水平に破断する工法(以下、横孔方式)へ変更し、最適な装薬条件を模索してきた。横孔方式にて実施した前回の実験¹⁾において、破断断面に対する装薬量を $256\text{g}/\text{m}^2$ 、装薬孔本数を4本、杭半径に対する装薬孔長の比(以下、装薬長率)を90%、装薬孔長に対する込め物長の比(以下、込め物長率)を40%とした装薬条件において、杭本体と余盛部分を水平に破断することが可能であり、かつ安定的な破断面が得られることを明らかにした。

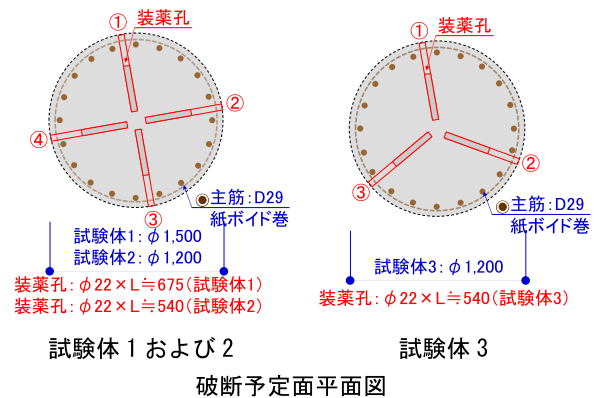
本検討では、装薬条件のさらなる適性化を目的とし、杭径 $\phi 1,200\text{mm}$ から杭径 $\phi 1,500\text{mm}$ に増大した場合の最適な装薬条件について確認し、さらに単位面積あたりの装薬量および装薬孔数を低減することの可否について確認した。また、水平破断された余盛部分をそのままの位置(原位置)にて小割破碎する方法の適否およびその際の装薬条件について検討した。

2. 実験概要

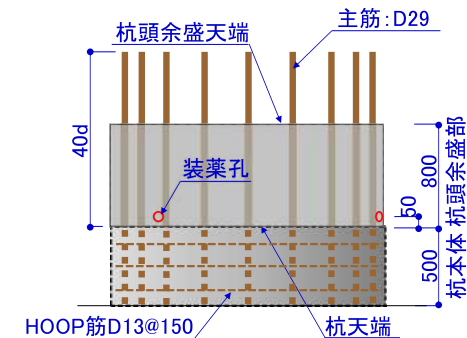
横孔方式による余盛部分の水平破断における装薬条件の最適化を目的とした実験では、杭径 $1,500\text{mm}$ の試験体を対象に杭径 $\phi 1,200\text{mm}$ と同一の装薬条件にて破碎実験を行った。さらに、杭径 $1,200\text{mm}$ の試験体を対象として、単位面積あたりの装薬量および装薬孔数を低減した条件で破碎実験を行った。

また、水平破断された余盛部分を縦方向の装薬孔により

小割破碎する方法(以下、堅孔方式)については、水平破断した後、別位置に移動した試験体を対象として、縦方向の装薬孔による余盛部分の小割破碎の可否および破碎性状を事前に確認した。その後、原位置にある試験体を対象に破



破断予定面平面図



試験体立面図(試験体 1, 2 および 3)

図一1 試験体詳細図(水平破断)

* 技術研究所 建築技術開発部

表-1 各試験体における装薬条件(水平破断)

試験体		装薬孔(横孔)				装薬量(1孔分)		装薬孔 長率 (%)	込め物 長率 (%)
No.	直径 (mm)	断面 (mm)	数量	長さ (mm)	摘要	薬量 (g)	算定式*1		
1	1,500	φ22	4	≒675	放射状・ビニル管 φ18	113	256×1.77/4	90	40
2	1,200	φ22	4	≒540	放射状・ビニル管 φ18	65	256×0.9×1.13/4	90	40
3	1,200	φ22	3	≒540	放射状・ビニル管 φ18	96	256×1.13/3	90	40

*1: 標準量×破断面積/装薬孔数(標準量: 256g/m²)

砕実験を行った。

2.1 使用材料

本実験における杭試験体は、普通ポルトランドセメントを用いた呼び強度 30N/mm² のコンクリートを用いた。破砕剤は金属の還元反応を利用した非火薬剤とした。

2.2 水平破断における装薬条件の最適化

2.2.1 試験体

各試験体の形状、寸法および装薬孔の配置を図-1に示す。装薬孔はいずれも横孔とし、杭天端より 50mm 上方の位置に水平かつ放射線状に配置した。

2.2.2 装薬条件

各試験体における装薬条件を表-1に示す。

試験体 1 は、杭径 φ1,500mm とし、破砕断面に対する装薬量および装薬孔の本数は、φ1,200mm で安定的な破断面が得られた前回までの実験¹⁾と同一条件とし、それぞれ 256g/m² および 4 本とした。

試験体 2 は、杭径 φ1,200mm とし、装薬孔の孔数は試験体 1 と同様に 4 本とした。装薬量は、破砕可能である装薬量の下限値を確認するために、試験体 1 の装薬量から 90% の量まで低減させた 230g/m² とした。

試験体 3 は、杭径 φ1,200mm とし、破砕断面に対する装薬量は試験体 1 と同様に 256g/m² とし、装薬孔の本数は 3 本とした。

なお、装薬孔長率および込め物長率は、全ての試験体で同一とし、それぞれ 90% 程度および 40% 程度とした。

2.2.3 破砕手順

破砕手順を①～⑤に、装薬状況を写真-1～8に示す。

①装薬容器(ビニル管)作製

- ・所定量の破砕剤を計量する(写真-1)。
- ・ビニル管の底部に点火具を固定し、ビニルテープで端部を密閉する(写真-2)。
- ・もう一方より所定量の装薬剤を詰め、ビニルテープで密閉し、装薬長を計測する(写真-3)。

②装薬

- ・ハンマドリルにて横孔を削孔し、装薬孔長を計測する(写真-4、5)。



写真-1 破砕剤計量



写真-2 点火具挿入



写真-3 装薬容器



写真-4 横孔削孔



写真-5 装薬孔長計測



写真-6 装薬容器挿入



写真-7 込め物(砂)



写真-8 防爆養生

- ・削孔した横孔の最奥部へ①で作製した装薬容器を挿入する(写真-6)。
- ・脚線を外部へ露出後、装薬孔内へ込め物(砂)を充填し、外部より突き固める。これを繰り返し、外周面まで砂を充填させる(写真-7)。

③防爆養生

- ・破砕時の衝撃によるコンクリート片の飛散を防止するため、防爆シートにて試験体全体を覆う(写真-8)。

④結線

- ・各装薬孔より延伸した脚線を直列に結線し、発破母線を介して破砕器に接続する。

⑤破砕

- ・作業員を安全な場所へ退避させ、周囲の安全を確認後、破砕する。
- ・破砕後は防爆シートの外部側へコンクリートの飛散がないことを確認し、防爆シートを取り外す。

2.3 余盛部分の小割破砕方法の検討

2.3.1 試験体

各試験体の形状、寸法および装薬孔の配置を図-2に示す。いずれの試験体も水平破砕後の余盛部分を試験体とした。また、試験体 A では、破砕後の杭主筋内外のコンクリート片を円滑に取り出せるように、余盛部分の杭主筋の外周側へビニルシートを巻き付け、かぶり部分のコンクリートを縁切りした。なお、試験体 1' および試験体 2' は、水平破砕後、別位置へ移動させて、小割破砕における装薬条件の適否を確認した後、試験体 A は水平破砕後、原位置にて小割破砕を行った。

2.3.2 装薬条件

各試験体における装薬条件を表-2に示す。

破砕断面に対する装薬量は既往の文献²⁾を参考に、試験体 1' は 190g/m²、試験体 2' は 170g/m²とした。試験体 A の装薬量は試験体 1' および試験体 2' の破砕性状を基に 140g/m²とした。本実験における装薬孔数は、余盛部分を 4 分割に破砕すること想定し、1 破砕断面に対し 3 本とした。

2.3.3 破砕手順

破砕手順を①～⑤に、装薬の手順を写真-9～16に示す。

①装薬容器(ビニル管)作製

- ・所定量の装薬剤を計量する(写真-9)。
- ・装薬容器へ挿入し密閉する(写真-10)。

②装薬

- ・余盛部天端より縦孔を削孔する(写真-11、12)。
- ・装薬容器(装薬剤+点火具)を装薬孔へ挿入し、込め物を充填し締め固める(写真-13)。

③防爆養生

- ・試験体 1' および試験体 2' においては、上方向への破砕圧の吹き上がり防止のため、別試験体を余盛部分試験体上部へ載せ、コンクリート片の飛散防止のため防爆シートにて試験体全体を覆う(写真-14、15)。

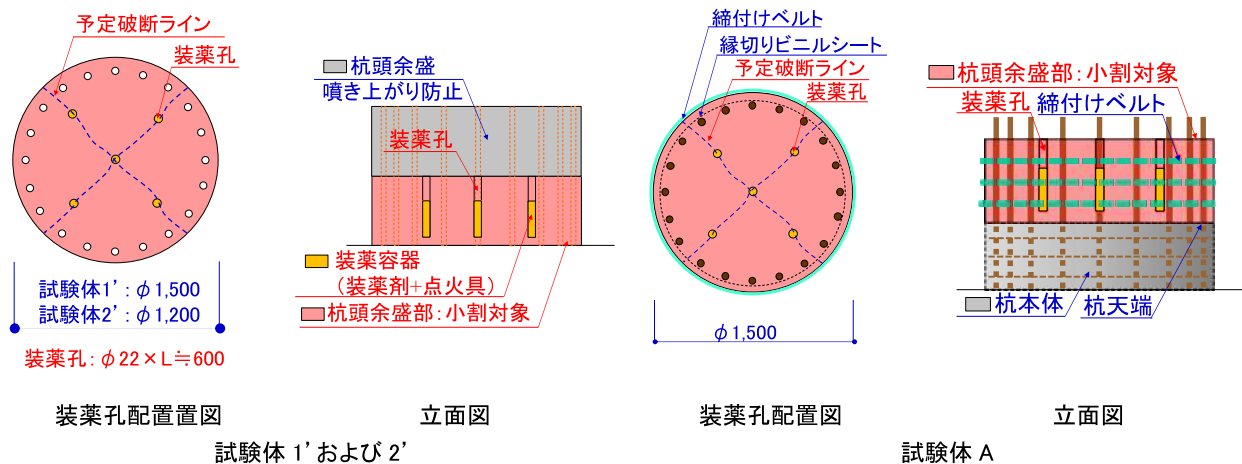


図-2 試験体詳細図(小割破砕)

表-2 各試験体における装薬条件(小割破砕)

試験体 No.	直径 (mm)	装薬孔 (縦孔)			概要	装薬量 (1 孔分)	
		断面 (mm)	数量	長さ (mm)		薬量 (g)	算定式*2
1'	1,500	φ 22	5	≒ 600	ビニル管 φ 16	75	190×0.80×1.50/3
2'	1,200	φ 22	5	≒ 600	ビニル管 φ 15	54	170×0.80×1.20/3
A	1,500	φ 22	5	≒ 550	ビニル管 φ 16	50	140×0.71×1.50/3

*2: 装薬量×余盛高さ×杭径/装薬孔数



写真-9 装薬容器



写真-10 装薬長計測



写真-13 込め物(砂)



写真-14 噴上がり防止
(試験体 1'および 2')



写真-11 豎孔削孔
(試験体 1'および 2')



写真-12 豎孔削孔
(試験体 A)



写真-15 防爆養生
(試験体 1'および 2')



写真-16 防爆養生
(試験体 A)

・試験体 A においては、破碎の衝撃によるコンクリート片の飛散および杭主筋の外側への変形を防止するため、防爆シートの外周面より締付けベルトにて余盛部分を固縛する(写真-16)。

2.5 騒音測定

破碎時の騒音を試験体から 5m 離れた位置にて測定した。測定条件は dB(A)特性、Fast 指示とした。

3. 実験結果

3.1 水平破断における装薬条件の最適化

3.1.1 杭径の違いによる影響

杭径 $\phi 1,500\text{mm}$ とした試験体 1 の破碎後の状況を写真-17 に示す。試験体 1 の破碎断面は、水平かつ平滑であったが、杭本体の一部にき裂が発生していた。しかし、このき裂は、床版と試験体とを固定しているアンカー部分に集中していたことから、破碎時の衝撃により試験体が上方へ持ち上がった影響により発生したと推察される。しかし、実際の杭においては、鉛直方向への応力は均等分布と考えられるため、このようなき裂は発生しないと考える。以上のことから、杭径 $\phi 1,500\text{mm}$ においても、杭径 $\phi 1,200\text{mm}$ と同様の装薬条件である装薬量 $256\text{g}/\text{m}^2$ 、装薬孔数 4 本で、安定的に水平破断できることが明らかになった。

3.1.2 装薬量の違いによる比較

装薬量を約 90% に低減した試験体 2 の破碎後の状況を写真-18 に示す。試験体 2 の破碎断面は水平かつ平滑であった。したがって、杭径 $\phi 1,200\text{mm}$ に対しては装薬量を約 90% まで低減した $230\text{g}/\text{m}^2$ 、装薬孔数 4 本とした装薬条件であっても、安定的に水平破断可能であることを確認した。なお、試験体 2 においても、本体の一部にき裂が発生していた



破碎後揚重



破碎断面

写真-17 試験体 1 破碎後状況(水平破断)



破碎後揚重



破碎断面

写真-18 試験体 2 破碎後状況(水平破断)

が、その発生位置と形状から試験体 1 と同様の理由で発生したと考えられることから、問題ないものと判断した。

3.1.3 装薬孔数の違いによる比較

装薬量を標準量の $256\text{g}/\text{m}^2$ 、装薬孔数を 3 本とした試験体 3 の破碎後の状況を写真-19 に示す。試験体 3 の破碎後の状況をみると、杭本体まで大きく破損していた。杭径 $\phi 1,200\text{mm}$ において、装薬量を $256\text{g}/\text{m}^2$ から変化させず、装薬孔数 3 本とした装薬条件では、杭本体と余盛部分を適切に水平破断できないことが明らかになった。これは、装薬孔が放射状に 3 本だけでは相互の距離が遠過ぎるため、破碎が



破砕後揚重



破砕断面

写真-19 試験体 3 破砕後状況(水平破砕)



破砕後状況 1



破砕後状況 2

写真-21 試験体 2'破砕後状況(小割破砕)



破砕後状況 1



破砕後状況 2

写真-20 試験体 1'破砕後状況(小割破砕)



破砕後状況 1



破砕後状況 2

写真-22 試験体 A 破砕後状況(小割破砕)

スが隣の装葉孔まで達していない隣接する装葉孔まで達していないためと考える

3. 1. 4 水平破砕における装葉条件の最適化

本実験の結果より、杭径 1,500mm 以下を対象とした場合の装葉条件は、破砕断面に対する装葉量が 256g/m²、装葉孔数が放射状に 4 本であることが確認された。しかし、杭径 φ1,200mm では、破砕断面に対する装葉量を 230g/m²としても、安定的に水平破砕することができたことから、適切な装葉量については、引き続き、検討が必要であると考えられる。

一方、装葉孔数を 3 本とすると、杭本体が大きく損傷した。杭頭余盛部分の水平破砕のメカニズムは、破砕断面内の弱点部である装葉孔に向かって破砕圧が進展することで、水平に破砕されるものと考えられる。このことから、装葉孔数を 3 本とした試験体の本体が損傷した理由は、装葉孔相互の間隔が広がったことで、破砕圧が隣接する装葉孔まで到達することができず、上下方向にも作用したためと推察される。

以上より、杭径 φ1,500mm 以下を対象とした場合の装葉孔数の下限値は 4 本であると考えられるが、過年度に実施した実験結果²⁾を含めて考察すると、装葉孔の本数を 6 本に増数することで、より安定した破砕性状が得られるものと推察される。したがって、装葉孔の本数は、工程や費用面に制約がなければ、6 本以上とすることが望ましい。

3. 2 余盛部分の小割破砕方法に関する検討

3. 2. 1 豎孔方式による小割破砕の適用性の検討

試験体 1' および試験体 2' の破砕後の状況を写真-20、21 に示す。どちらの試験体においても計画通り 4 分割に破

砕することができたことから、豎孔方式にて余盛部分の小割破砕が可能であることを確認した。しかしながら、破砕時に細かなコンクリート片が周囲に飛散していたため、装葉量および養生方法についても検討する必要がある。また、破砕断面に対する装葉量は、試験体 2' において 170g/m²まで低減したが、破砕形状、規模からもう少し低減することが可能と考えられた。そのため、原位置で小割破砕する試験体 A に対しては、装葉量を 140g/m²とし、余盛部分の外周部をベルトにて固縛することとした。

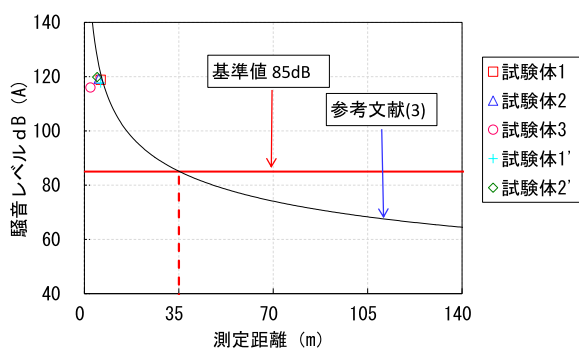
3. 2. 2 原位置における小割破砕の検討

試験体 A の破砕後の状況を写真-22 に示す。破砕は予定していた分割数よりさらに細かく破砕されたが、豎孔方式にて余盛部分の小割破砕を原位置にて行えることを確認した。また、余盛部分の外周部を締付けベルトで固縛することにより、破砕時のコンクリート片の飛散と杭主筋の外側への変形を防止することができた。併せて、余盛部分のかぶりコンクリートを縁切りすることにより、破砕後にコンクリート片を容易に取り外すことができた。

3. 2. 3 余盛部分の小割破砕方法

豎孔方式における破砕のメカニズムは、水平破砕と同様に、破砕断面内の弱点部へ破砕圧が進展することにより、破砕されるものと考えられる。試験体 A においては、隣り合う装葉孔間相互に、また、ビニルシートにて縁切りしたかぶり部分へも破砕圧が進展したため、試験体 1' および試験体 2' に比べ細かく破砕されたものと推察される。

以上より、杭径 φ1,500mm 以下を対象とした余盛部分の小割破砕は、豎孔方式を適用することにより、原位置においても可能であると考えられる。また、豎孔方式における装葉条件



図一3 騒音測定結果

は、破砕断面に対し装薬量 $140\text{g}/\text{m}^2$ 、装薬孔数 3 本とすることにより、安定的に余盛部分の小割破砕が可能であると考えられる。

3.3 騒音結果

杉下ら³⁾が示す破砕時に発生する最大騒音レベルの測定結果のより算出される回帰曲線を図一3に示す。最大騒音レベルの観測点は、破砕エリアから 15m、20m、30m、140m、150m、200m の 6 点である。本実験では、試験体より 5m の位置で測定した実験時の騒音の最大値は、試験体 2' における 119.8dB(A) であった。この時の騒音レベルを、建設作業における騒音規制法による規制基準値である 85dB(A) 未満まで減衰させるのに必要な距離は、図一3の回帰曲線をより算出すると、約 35m となった。

4. まとめ

今回の一連の実験において、以下のことが明らかになった。

- 杭径 $\phi 1,500\text{mm}$ までの杭における水平破断時の装薬孔本数の下限値は 4 本であることを明らかにした。ただし、より水平かつ平滑な破断面を安定的に得るためには、装薬工数

を 6 本とした方が望ましい。

- 杭径 $\phi 1,500\text{mm}$ までの杭を対象とした場合、装薬量を $256\text{g}/\text{m}^2$ とすることにより、水平かつ平滑な破断面を得ることができるが、杭径 $\phi 1,200\text{mm}$ の杭では、装薬量を標準量の 90% の $230\text{g}/\text{m}^2$ としても、安定的な水平破断が可能であったことから、適切な装薬量については、引き続き検討の必要があると考えられる。
- 杭径 $\phi 1,500\text{mm}$ までの杭を対象とした場合、縦方向の装薬孔を用いることにより、水平破断後の余盛部分の小割破砕を原位置において行えることを確認した。
- 余盛部分の小割破砕における装薬条件は、破砕断面に対し装薬量 $140\text{g}/\text{m}^2$ 、装薬数は 3 本であった。
- 余盛部分の小割破砕時に、外周部を締付けベルトにて固縛することにより、破砕時におけるコンクリート片の飛散防止と、破砕時の衝撃による杭主筋の外側への変形防止が可能であることが明らかになった。
- 余盛部分の小割破砕時に、かぶり部分のコンクリートの縁を切ることにより、さらに細かく小割破砕することが可能であることが明らかになった。

【参考文献】

- 1) 竹内博幸ほか: 横孔方式による動的破砕を適用した杭頭処理工法に関する実験、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、pp.1647-1652、2016.7
- 2) 中村隆寛ほか: 場所打ちコンクリート杭の杭頭余盛コンクリートを瞬時破砕する杭頭処理工法の装薬方法の検討、日本建築学会大会学術梗概集(九州)、pp.1337-1338、2016.8
- 3) 杉下紗恵子ほか: 場所打ちコンクリート杭の杭頭余盛コンクリートを瞬時破砕する杭頭処理工法の現場適用、日本建築学会大会学術梗概集(九州)、pp.1339-1340、2016.8