

ウォータージェット削孔に対応した
ワイド
「留太郎 W」の性能確認試験
報告書（案）

2023年11月28日

青木あすなろ建設(株)

削孔協力：第一カッター興業(株)

アンカー設置施工協力：(有)新日本工販

留太郎 W 試作・提供：遠州スプリング(有)

1. はじめに

1.1 試験の経緯・目的

橋梁の耐震補強工事において、ウォータージェットを用いた削孔によるあと施工アンカー工事が実施されているが、太径のアンカーボルトの設置、特に上向き施工に手間と時間を要し、その施工性の良い工法の開発が望まれている。当社は 2023 年 1 月に市場にすでに提供中のアンカー留太郎の派生技術として、N.A.T.M.工法並びにグラウンドアンカー工法へ適用を拡大する追加特許を出願している。その要点は、従来のアンカー留太郎とアンカーボルトにクリップのように手で押し込み装着方法は同様で、腕部の長さを 50～70 mm と長くした点にある。派生技術とウォータージェット削孔に対応したアンカー留太郎の共通点は、削孔内断面が同様に凹凸のある不均一な穿孔断面になる点で、ウォータージェット削孔を用いたあと施工アンカーの設置補助具としての応用性が期待できる。

今回は、ウォータージェット削孔に対応したアンカー留太郎「留太郎 W (とめたろうわいど)」のスペーサー機能、ストッパー機能を確認する性能確認試験を実施し、実施適用への課題を見つけることを目的とする。

1.2 ウォータージェット削孔の概要

ウォータージェット工法は水を高圧にしてノズルから噴射し、その高圧水流で対象物を破壊、粉碎、切断する。超高圧にすることで鉄板ですら切断できるが、回転数と圧力を管理することで、鉄筋を損傷すること無く、コンクリートの結合材のみを研ることが出来る。加えて振動、衝撃が少ないため、コンクリート内部にマイクロクラックがほとんど発生しないことからコンクリート構造物の研り作業に多く用いられている。

第一カッター興業(株)は、このウォータージェットの利点を生かして、「ウォータージェットを用いたコンクリート削孔技術」を開発し、実用化している(写真 1.2)。母材強度や要望される削孔径に合わせた水圧およびノズルヘッドを用いて削孔を行う(写真 1.3、写真 1.4)。

ウォータージェットによる削孔工法の普及を目的とした「ウォータージェット削孔研究会」<http://www.wj-drilling.org/>も設立運営されている。



写真 1.2 WJ での削孔状況



写真 1.3 WJ の先端 (ヘッド)



写真 1.4 WJ で削孔した孔口

1.3 ウォータージェット削孔の普及における課題

ウォータージェット削孔は、鉄筋を切断することなく削孔が可能な点、鉄筋に干渉した場合も、削孔位置を少しずらした箇所での再削孔が可能といったメリットがあり、既設構造物の補修・修繕工事において、鉄筋位置の把握が難しい場合や、過密配筋によりコアドリルでは穿孔が困難な場合に適用できる削孔方法として有効とされている。一方、コアドリルでの穿孔では、孔内壁面に凹凸はなく穿孔断面（＝穿孔径）が均一のため、アンカー定着時の仮止め作業が「くさび」といった簡易的な方法で可能である（写真 1.5）。しかし、ウォータージェット削孔は、凹凸な削孔断面や、取り除かれた粗骨材により削孔径が大きくなるなどの要因で「くさび」が仮止め材として機能しない。そのため「支保工」を組む、「くさび」が機能するまで孔壁に接着剤を塗布して削孔径を狭めるなど、大掛かりな仮止め作業と時間を要する（図 1.2）。

ウォータージェット削孔をあと施工アンカー工法やあと施工せん断補強工法などの削孔方法へ普及させるには、アンカー定着時の課題を解決することが求められる。

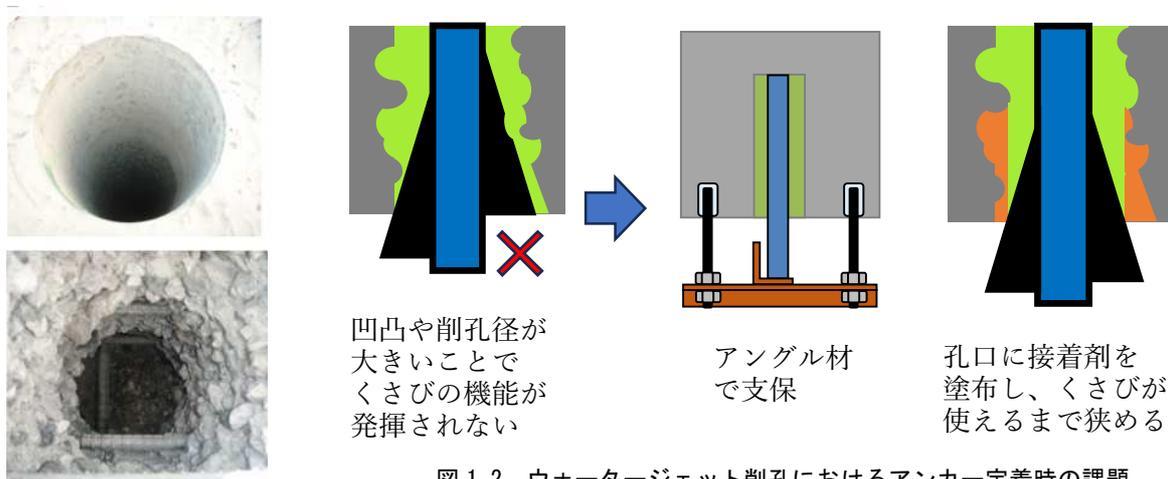


図 1.2 ウォータージェット削孔におけるアンカー定着時の課題

写真 1.5 コア穿孔(上)と
WJ 削孔(下)の孔内の違い

1.4 ウォータージェット削孔の課題に対する「留太郎 W (ワイド)」の有効性

アンカー留太郎は、アンカー筋に装着し孔内に埋め込むことで「スペーサー & ストッパー機能」を発揮し、だれでも、簡単に、短時間で確実な施工ができる（図 1.3）。

「スペーサー機能」は、アンカー筋を孔の中央へ自動的に設置し、全長かつ全周で接着剤が均一に付着し、施工品質を確保する。

「ストッパー機能」は、アンカー筋が自重でずれることを防止し、従来工法における仮止め作業の工程数を短縮し、施工効率が向上する。

こうした機能は、アンカー留太郎の腕部がコンクリートの孔壁に接触し腕部が折れ曲がることで得られる機能である。したがって、どのような削孔断面に対しても腕部が孔壁に接触する長さ、かつ、折れ曲がり量によらず、アンカーボルトの自重に耐えうる線径の「留太郎 W」を用いれば、「スペーサー機能」と「ストッパー機能」が得られると考えられる（図 1.4）。両機能が得られる「留太郎 W」が開発できれば、不均一な削孔断面を形成するウォータージェット削孔におけるアンカー定着時の課題を解決できる有力な工法となり得る。

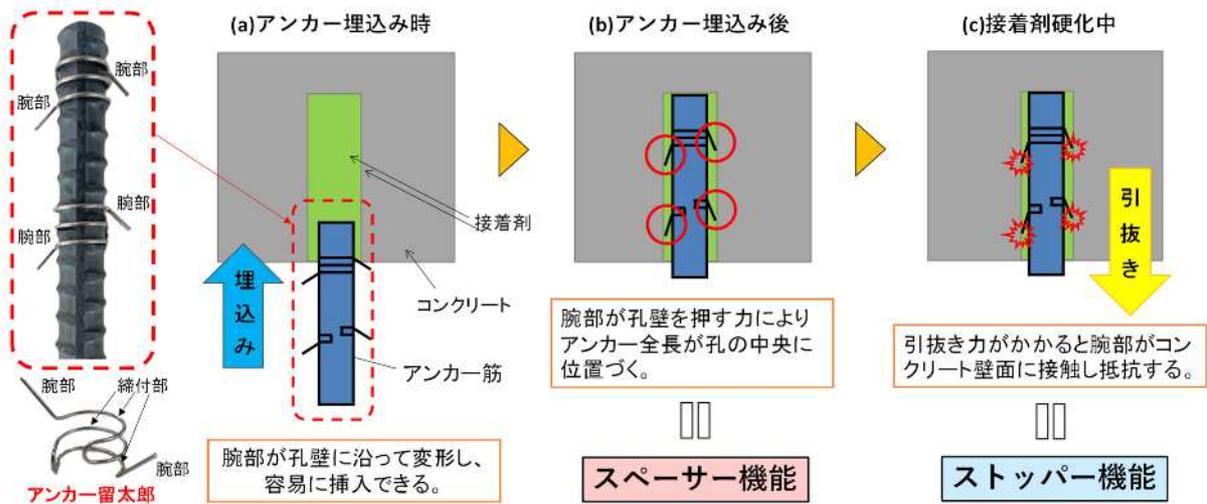


図 1.3 アンカー留太郎が発揮する機能

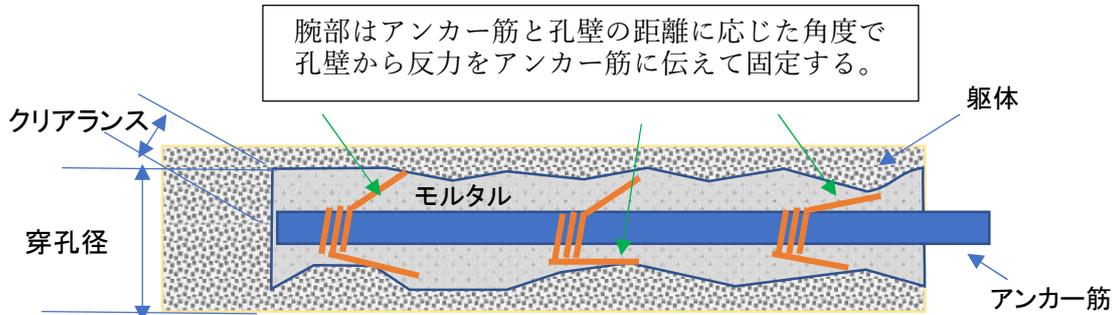


図 1.4 ウォータージェット削孔に設置したアンカー留太郎 (=留太郎 W) のイメージ図

2. 性能確認試験

ウォータージェットで削孔した不均一な穿孔断面に対しても、留太郎 W (ワイド) の「スペーサー機能」と「ストッパー機能」が発揮されるかを確認するため、D32、D41 を対象とした試作品を製作した。性能確認試験は上向き施工におけるストッパー機能の確認と、横向き施工におけるスペーサー機能の確認の 2 項目とする。なお、上向き施工においては、実現場での性能確認と研究所での性能確認の 2 種類の条件で実施した。

- ①線径：D32_1.8mm、D41_2.3mm(比較用に 2.6mm も製作)
- ②腕部の長さ(初期=製作時)：D32・D41_70mm (写真 2.1)
- ③腕長さの調整(切断)には、写真 2.2 の工具を使用する。



写真 2.1 留太郎 W (左) とアンカー留太郎 (右)



写真 2.2 腕部切断用工具

2.1 上向き施工におけるストッパー機能の確認(実現場)

2.1.1 試験目的・試験方法・確認項目

実現場における上向き施工の実施目的は、下記の項目(①、②)の確認である。実現場は、2.2で述べる研究所での削孔に比べ、作業環境も悪く、削孔断面の大きさも場所(作業の容易性)により大きく異なる。また、削孔の際に鉄筋に干渉し、削孔位置をずらすことも当たり前になり、連続した孔も多数存在する。そういった実際の現場状況下において、留太郎Wのストッパー機能が発揮されるかを確認した。

①ストッパー機能：アンカー筋の抜け落ちを防止するか・引き抜きの可否

②作業性：装着性・挿入性・アンカー筋位置の微調整の可否

2.1.2 試験概要(実現場)

1) 実施日：2023年8月7日

2) 実施場所：橋梁耐震補強工事現場

3) 橋梁構造：ホロースラブ

4) 試験条件

①アンカー筋：D41×500mm(5.3kgf)

②削孔径：D41の+10mmを目標に、単管パイプ(φ48.6mm)が通るよう削孔を実施
→最大の削孔径は70mm～100mm程度

③削孔・挿入向き：上向き

④クリアランス：アンカー径+30～60mm

⑤留太郎W：腕部の長さ(70mm：初期) 線径(2.3mm) 装着個数(1個～)

5) 作業員：削孔_新日本工販、アンカー施工_新日本工販作業員

2.1.3 試験結果

70mmの腕長さの留太郎Wの場合、ストッパー機能が発揮され、また挿入性も優れていた。2個装着すると孔内での安定性が増した。また、微調整も行えたが、装着数1個の場合、大きく調整すると腕部の引っ掛かりが外れて、抜け落ちることもあり、2個以上の装着を推奨する。アンカー筋の引抜きもアンカー筋をひねることで可能であった(留太郎Wは孔内に残る)。

2.1.4 課題

実現場における上向き施工の結果を踏まえ、今後はアンカー筋が長尺(重量が重い)の場合にも同様にストッパー機能が得られるかを確認する必要がある。



写真 2.3 留太郎Wの取付け状況と挿入後

2.2 上向き施工におけるストッパー機能の確認(研究所)

2.2.1 試験目的・試験方法・確認項目

研究所における上向き施工の実施目的は、下記の項目(①、②)の確認である。研究所では、求める通りの条件で削孔が行え、また、実現場では基本的に存在しない貫通した削孔が行える。そのため、長尺のアンカー筋を用いることもでき、ストッパー機能の有効範囲を確認した。

①ストッパー機能：長尺のアンカー筋においてもアンカー筋の抜け落ちを防止するか

②作業性：装着性・挿入性

2.2.2 試験概要(研究所)

- 1) 実施日：2023年10月18日
- 2) 実施場所：青木あすなろ建設 技術研究所
- 3) 試験体：コンクリート構造物(門型_写真2.4)
- 4) 試験条件

①アンカー筋：D41×500mm(5.3kgf)
D41×1000mm(10.24kgf)

②削孔径：D41の+10mm
連続孔→削孔径は70mm～100mm程度

③削孔・挿入向き：上向き

④クリアランス：アンカー径+30～60mm

⑤留太郎W：腕部の長さ(70mm) 線径(2.3mm) 装着個数(1個・2個)

- 5) 作業者：削孔_第一カッター興業、アンカー施工_青木あすなろ建設社員

2.2.3 試験結果

1) 削孔結果

削孔状況を写真2.5に、削孔後の孔を写真2.6に示す。実現場と同じく、鉄筋に干渉したため、可能な限り近くで削孔を行い、連続孔を形成した。干渉がなく削孔を行った穴のコンクリート表面における最大径(長手)は55mmで、短手方向は55mmであった。連続孔の最大径は105mmで、短手方向は55mmであった。今回の下向き削孔で用いたヘッド径は38mmで、水圧は200mpaで削孔を実施した。



写真 2.4 留太郎 W の取付け状況と挿入後



写真 2.5 削孔状況(下向き_貫通)

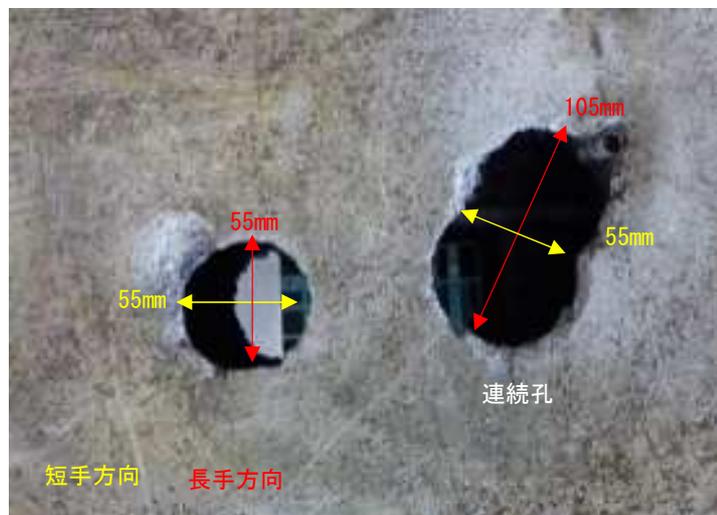


写真 2.6 削孔後(下向き_貫通 : 上面からの伏せ図)

2) 挿入結果

D41×0.5mの留太郎 W 装着状況と挿入結果を写真 2.7 に、D41×1mの装着状況と挿入結果を写真 2.8 に示す。連続孔に挿入した D41×0.5m は、実現場で試験した結果と同様 2 個の留太郎 W で安定したストッパー機能が得られた。同じく連続孔に挿入した D41×1m も、留太郎 W_2 個でストッパー機能を得られた。ただし、連続孔の長手方向には腕部の長さがぎりぎりであり、腕部の配置・挿入方法（短手方向に腕部が接触するように）を考えて施工を行う必要があった。



写真 2.7 D41×500 の装着状況
と挿入後（留太郎 W2 個）



写真 2.8 D41×1m の装着状況と挿入後（留太郎 W2 個）

2.2.4 課題・今後について

研究所における上向き施工の結果、留太郎 W がストッパーとしての役割を十分有していた。一方、径の条件（連続孔など）によっては挿入の際に腕部の配置に留意する必要があった。したがって今後は下記の対策案について検討する。

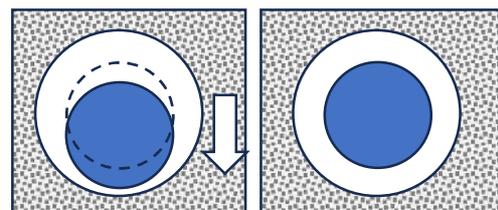
- ①取扱説明書に記載し腕部の長さを現状から変更しない方法（70mm→70mm）
- ②どの大きさの径にも対応できるように腕長さを変更する方法（70mm→100mm）

2.3 横向き施工におけるスペーサー機能の確認

2.3.1 試験目的・試験方法・確認項目

ウォータージェット削孔に留太郎 W を適用する場合、留太郎 W の腕長さから反力が不足し、アンカー筋の自重で孔の下部に沈み込む懸念がある（図 2.1）。また、孔内の凹凸によって、腕部の折れ曲がり均一ではなく、孔の中央へアンカー筋を設置できないことも懸念される。さらに、孔内が凹凸のため、挿入時に留太郎 W が凸部にぶつかり、留太郎 W がアンカー筋から外れることも想定される。横向き施工の実施目的は、留太郎 W を装着したアンカー筋を孔内に挿入した際、アンカー筋およびアンカー留太郎の挙動を確認することと、孔の中心にアンカー筋を設置する「スペーサー機能」が発揮される留太郎 W の個数、最適設置位置の確認を実施する。

ただし、不均一な穿孔断面において、どこが孔の中央であるか判断することは難しい。そのため、横向きに施工したアンカー筋が孔内でどのように固定されるのかを確認することも目的とする。試験方法は、腕部の長さ、留太郎 W の装着個数、腕部の配置方法をパラメータとし挿入を行う。確認項目は下記①と②で、作業性も含めアンカー留太郎の仕様を把握する。



自重による沈みこみ 正位置
図 2.1 横向き施工における懸念事項

- ①スパーサー機能：腕長さ・装着個数・腕部の配置
- ②作業性：装着性・挿入性・微調整・引き抜きの可否

2.3.2 試験概要

- 1) 実施日：2023年10月18日(水)
- 2) 実施場所：青木あすなろ建設(株) 技術研究所
- 3) 削孔・施工者：第一カッター興業 新日本工販
- 4) 試験条件
 - ①アンカー筋：D32×1m(6.23kgf)・若干数、D41×1m(10.5kgf)・若干数
 - ②削孔径：D32+10mmのΦ42、D41+10mmのΦ51を目標に、水圧・削孔スピードを調整し、削孔する。また、連続した孔を削孔し、実現場で起こり得る削孔を再現した。
 - ③削孔・挿入向き：横向き
 - ④接着剤：なし
 - ⑤アンカー留太郎：腕部の長さ(70mm：初期) 線径(2.3mm～) 装着個数(4個～)
 - ⑥コンクリート母材：

母材は、写真 2.9 に示す 1m×1m×1m のコンクリートブロック(以下、1 m³)とする。この母材には、D32、D41 のアンカー筋に対応した穿孔径(Φ42、φ51)をコアドリルで穿孔しており、両者の削孔の比較も実施する。また、コンクリート母材の強度が異なるコンクリート(写真 2.10_以下、高強度)への削孔も実施し、躯体強度の違いがウォータージェット削孔に与える影響および留太郎 W の性能に与える影響について確認した。

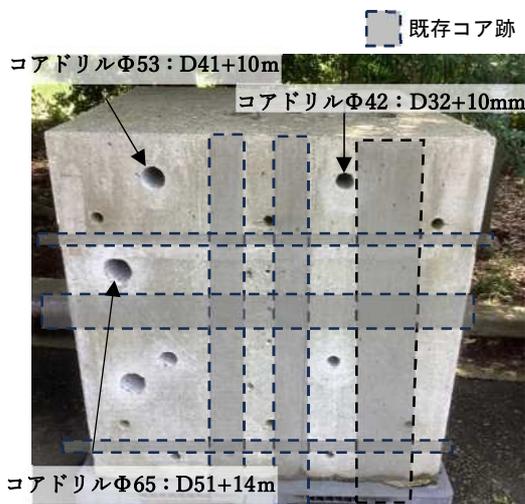


写真 2.9 母材 (1m×1m×1m)



写真 2.10 母材 (高強度 100N/mm²)

2.3.3 試験結果

1) 削孔結果

削孔状況を写真 2.11 に削孔後の躯体を写真 2.12 に示す。今回の横向き削孔で用いたヘッド径は 38mm で、水圧は 200mpa で削孔を実施した。しかし、躯体「高強度」の場合、水圧 200mpa では削孔ができなかった。そのため、220mpa に水圧を上げて、削孔を行った。1m の貫通の削孔は、約 10 分程度で削孔ができた。高強度の場合(削孔長さ 1.1m)でも 20 分程度であった。

躯体「1 m³」の削孔は、通常の削孔（φ55mm程度を目標）を2孔（①、②）、できる限り小さい径を目標にした削孔を1孔（③）、削孔を2往復した孔を1孔（④）の計4つの削孔を行った。躯体「高強度」への削孔は、3往復した孔を1孔（①）、連続孔を1孔（②）実施した。

削孔後の孔を写真 2.13 に、計測した削孔径を表 2.1 に示す。削孔径は、①、②の2孔はほぼ同様な削孔径となり、概ね同じ躯体へ同じ技術者が削孔する場合のばらつきは小さいことが確認できた。孔底側は孔口側に比べ少し径が広がる傾向を示した。③の削孔径は、孔口側は短手方向が50mm、長手方向が55mmと通常の削孔に比べ約10mm程度小さい削孔径であった。しかし、小さい削孔径を目指した場合、ウォータージェット削孔の特性により、時折ノズルと孔壁の間に粗骨材が詰まり削孔が止まったため、作業性はよくないことがわかった（⇒細径のアンカー筋を用いる場合も60mm程度の削孔径となる）。④は2往復削孔を実施したが、孔口側は1往復とそこまで変わらず、短手方向・長手方向共に70mmであった。一方、孔底側は短手方向で90mm、長手方向は100mmで孔口側の削孔径に対し1.3倍程度径が大きく削孔された。したがって、往復して削孔する場合は、孔底に掛けて径が広がることに留意して腕部の長さを検討する必要がある。

躯体「高強度」へ削孔した①の削孔径は、孔口側に対し、孔底側の径が1.6倍～1.9倍と広がって削孔された。②の削孔径も、孔底側が孔口側に対し広がる結果となった。



写真 2.11 削孔状況 (左: 1 m³, 右: 高強度)

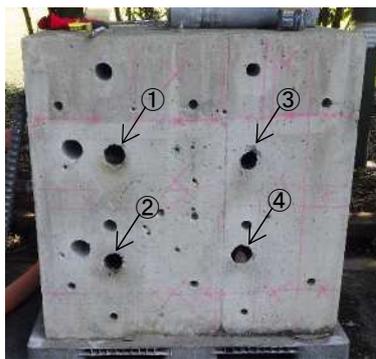


表 2.1 削孔径

躯体名	孔番号	孔口側[mm]		孔底側[mm]		備考
		短手	長手	短手	長手	
1 m ³	①	65	65	65	70	φ55_1往復
	②	60	65	60	70	φ55_1往復 (再現性確認)
	③	50	55	55	55	最小削孔径_1往復
	④	70	70	90	100	2往復
高強度	①	60	60	95	115	3往復
	②	50	115	115	140	連続孔

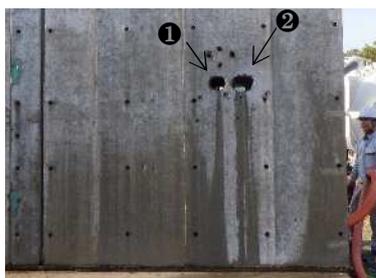


写真 2.12 削孔後 (上: 1 m³, 下: 高強度)

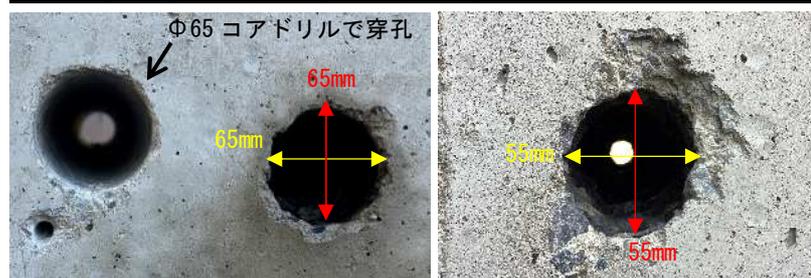


写真 2.13 削孔後の孔_1/2 (①-孔口: 左、③-孔口: 右)

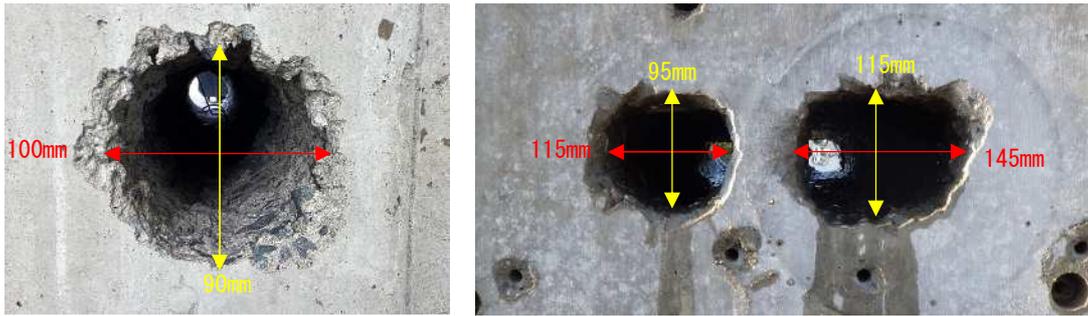


写真 2.13 削孔後の孔_2/2 (④-孔底：左、①、②-孔底：右)

2) 挿入結果

挿入結果を写真 2.14 に示す。横向き施工では、ほぼすべてのケース（留太郎 W の取り付け数を変化：2 個～6 個）でアンカー筋の自重に腕部が負け、アンカー筋が孔の下方へ沈み込んだ。また、留太郎 W が時折アンカー筋から外れる不具合が確認された(a)。中には留太郎 W を使用しない場合でも、孔壁の凹凸により、孔の中心近くに設置される場合もあった(c)。今回の試験で用いた留太郎 W は線径が $\Phi 2.3\text{mm}$ である（アンカー留太郎と同じ）。そこで、線径を太くした留太郎 W ($\Phi 2.6$) で試験した結果、6 個の留太郎 W で D41 \times 1m のアンカー筋を孔の中央へ位置付けることができた(e)(f)。

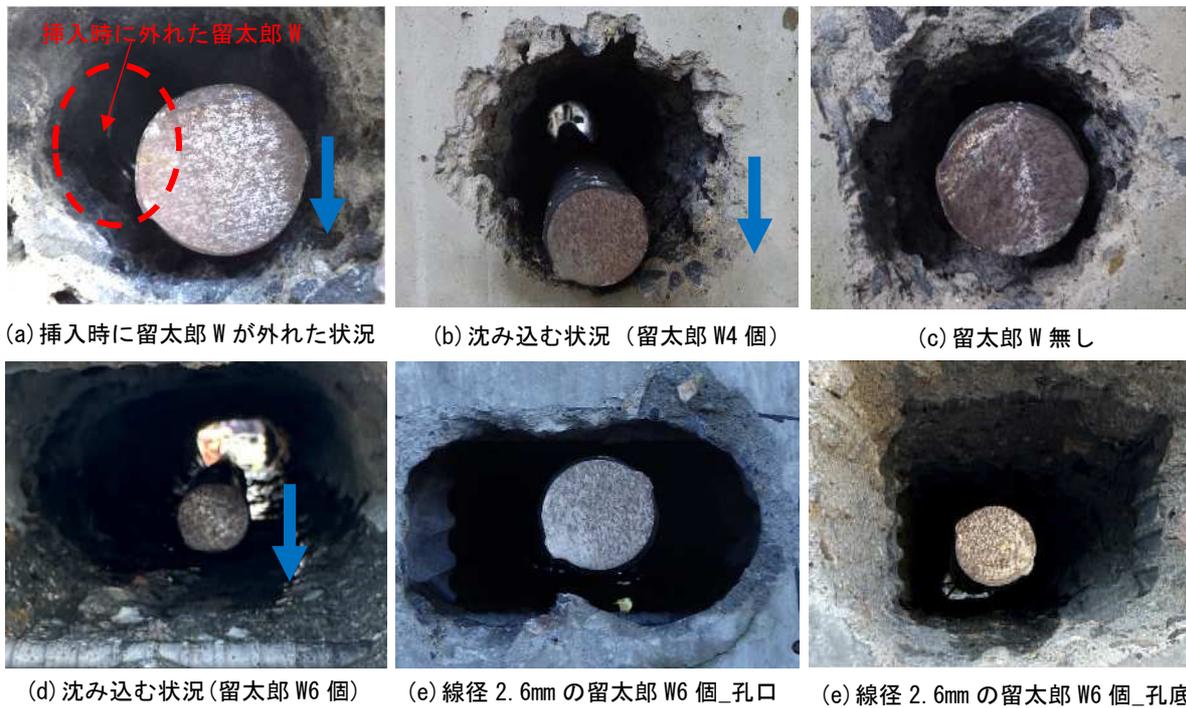


写真 2.14 挿入結果

2.3.4 課題・今後について

横向き施工の結果、今回の留太郎 W の仕様では、十分なスペーサー機能は得られなかった。ただし、線径を太く ($\Phi 2.3 \rightarrow \Phi 2.6$) すると、スペーサー機能を発揮することは確認できた。ただし、「どこが孔の中央なのか判断できないため、スペーサーとしての機能は求めている」という意見が挙がった。したがって、今後は横向き施工におけるスペーサー機能の需要がどこまで

求められるかを調査することが必要である。また、スペーサー機能が必要な場合、線径を太くするほか、腕部の製作角度をさらに寝かせること（アンカー軸に対し垂直：現在 45 度→30 度）、腕長さを短くし曲がりにくくする（70mm→50mm）といった対策も考えられるため、今後も留太郎 W の仕様については追加試験を実施する必要がある。

写真(e)を見ると、連続孔の中央にアンカー筋が設置されている。「実際の現場では、鉄筋の干渉で再削孔した場合は、再削孔した孔においてアンカー筋が中央に設置される必要があり、連続孔の中央に設置されることはない」との意見から、連続孔の長手方向において、留太郎の腕部が伸びる（孔壁に接触する）必要はないことがわかった。そのため、基本的には短手方向のみに対応する腕長さで十分といえる（図 2.2）。ただし鉛直方向に長い連続孔においては、腕部の長さが必要となるため、腕長さについては今後も検討が必要となる。

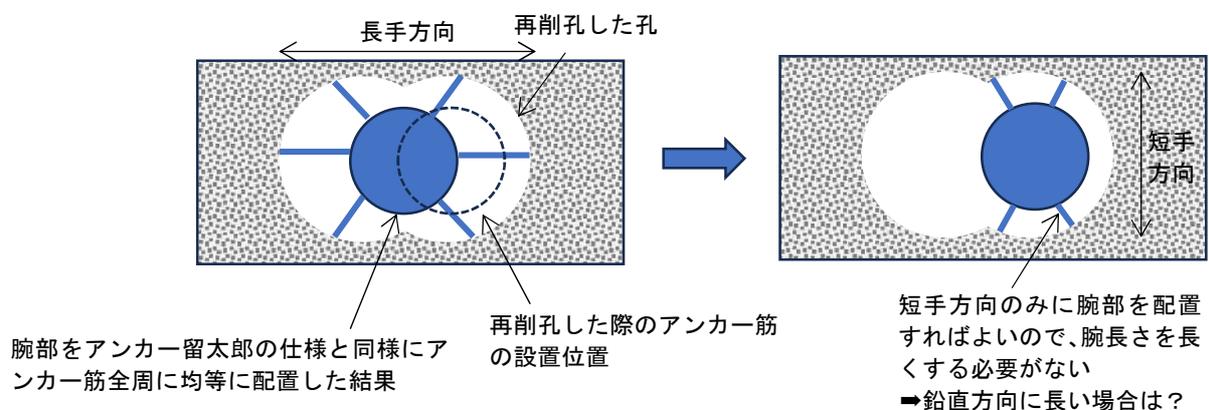


図 2.2 連続孔への施工で得られた課題