

論文 施工者の技量が金属系あと施工アンカーの施工品質に及ぼす影響

ティン フィン ミン^{*1}・イマド サイド^{*2}・ファム ダン クオン^{*3}・國枝 稔^{*4}

要旨：本研究では、スリーブ打込み式の金属拡張アンカーの施工を行うにあたり、打込み棒に生じるひずみを測定して施工者の打撃力を定量化を試みた。下向き施工や横向き施工における打撃力や打撃回数を調べたところ、本研究の範囲内では、技能者と未経験者では明らかに施工の品質が異なり、技能者の中でも特に経験年数が長い技能者の方が、測定値のばらつきが小さい傾向にあり、経験年数の重要性が確認された。一方で、本実験において測定したスリーブ出し高、圧縮ひずみおよび打撃回数が耐力に与える影響は大きくなかった。

キーワード：あと施工アンカー、スリーブ打込み式、金属拡張、技能者、打撃力

1. はじめに

耐震補強や既設コンクリート構造物に付属物を留め付けるために用いられるあと施工アンカー（以後、アンカーと呼ぶ）は、接着系、金属系、その他のアンカーに分類できるが、いずれのアンカーを用いる場合においても、それぞれのアンカー特有の施工上の留意点があり、技能者の技量が必要とされている。（一社）日本建築あと施工アンカー協会は、製品の認証に加えて、技能者の資格制度を運用し、アンカーの施工品質を確保するしくみを構築している。

接着系アンカーについては、穿孔の清掃不足や接着剤の充填不足など、施工不良がアンカーの耐力に及ぼす影響についての既往の知見が多いたとえば^{1), 2)}が、金属系アンカーの施工品質に関する既往の知見は少ないのが現状である。金属系アンカーに関しては、穿孔径の違いや打込み不足が引抜き試験における耐力に及ぼす影響について検討されている³⁾が、技能者の技能がアンカーの品質に及ぼす影響について検討された事例は少ない。

一般に、あと施工アンカーの施工品質は技能者の経験に依るところが大きいことは容易に想像できるが、今後建設分野において技能者が不足する中で、あと施工アンカーの施工を行う技能者が保有する技能をデータ化し、作業の中で具体的に何が行われているかを明らかにすることが当該技術における品質確保において極めて重要である。

本研究では、スリーブ打込み式の金属系アンカーを対象に、技能者の技量を定量化する試みとして、打込み棒の打撃時に生じるひずみを測定するとともに、施工後のアンカーの引抜き試験における耐力などとの関係についても考察した。

2. 実験概要

2.1 あと施工アンカーと穿孔

図-1 に示すスリーブ打込み式の金属系アンカー（M20、スリーブ長さ 75mm）を使用した。使用したドリル径は 28mm とし、穿孔深さを 88mm とした。施工には専用の打込み棒と 1.5kg のハンマーを使用した。

穿孔作業はすべて同一の技能者が行い、穿孔の向きはすべて下向きに統一した。表-1 に穿孔深さの測定値を示す。後述のコンクリート板の 1200mm×1200mm の 2 面（表裏）を施工面として使用するが、結果として横向き施工に用いる面の穿孔深さの平均値と標準偏差が、下向き施工に用いる面の結果に比べて大きくなった。要因の 1 つとして、横向き施工に用いる面は打設面であり、型枠底面と比較して粗骨材量が少なく、穿孔し易かったものと推察される。

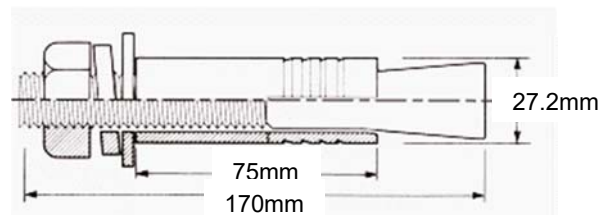


図-1 使用した金属拡張式アンカーの概形

表-1 穿孔深さの測定値

施工面	穿孔深さ (mm)		摘要
	平均値	標準偏差	
下向き施工に用いる面	89.5	0.83	型枠面
横向き施工に用いる面	91.8	1.99	打設面

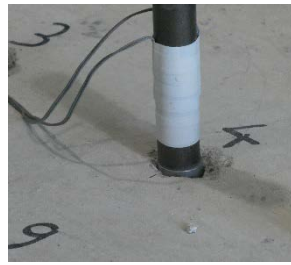
※各面の施工本数は 23 か所

*1 岐阜大学大学院自然科学技術研究科環境社会基盤工学専攻（学生会員）

*2 岐阜大学大学院工学研究科工学専攻

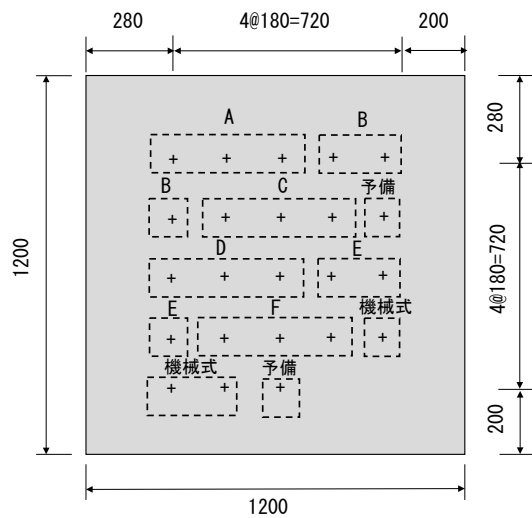
*3 岐阜大学大学院自然科学技術研究科環境社会基盤工学専攻

*4 岐阜大学工学部社会基盤工学科 教授 博士(工学)（正会員）

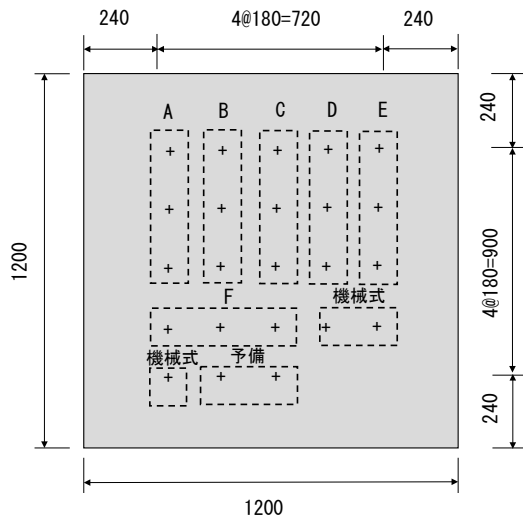


(白色のテープにより保護済み)

写真-1 打込み棒に貼付されたひずみゲージ



(a) 下向き施工



(b) 横向き施工

図-2 コンクリート板概形とアンカー施工位置
(+：アンカー施工位置)

2.2 コンクリート板

アンカーを施工する母材コンクリートとして、
1200mm×1200mm×300mm のコンクリート板を使用した。図-2 に、コンクリート板の概形とアンカー施工位

表-2 施工者の経験年数と保有資格

施工者	経験年数	第1種資格取得年数	資格種類
技能者 A	26 年	12 年 1 ヶ月	あと施工アンカー主任技士
技能者 B	10 年	11 年 3 ヶ月	あと施工アンカー主任技士
技能者 C	7 年	3 年 7 ヶ月	あと施工アンカー主任技士
技能者 D	5 年	2 年 11 ヶ月	あと施工アンカー主任技士
未経験者 E	—	—	無資格 (学生)
未経験者 F	—	—	無資格 (学生)



(a) 下向き施工



(b) 横向き施工

写真-2 施工の状況

置のレイアウトを示す。コンクリート板の周辺には用心鉄筋が配置されていることから、それを避けるようにコンクリート板中央部に予備を含む 23 本を施工した。使用したコンクリートの水セメント比は 58% であり、粗骨材の最大寸法は 25mm とした。材齢 28 日における圧縮強度（標準養生）は 33.6N/mm² であった。

2.3 あと施工アンカーの施工方法と測定

使用する打込み棒の側面の相対する 2 面に長さ 2mm のひずみゲージを貼付し (写真-1)、打撃時に生じる圧

表-3 施工後のスリーブの出しろ（下向き施工）

（単位：mm）

技能者	スリーブの出しろ			平均	標準偏差
	1 本目	2 本目	3 本目		
A	-0.24	0.40	-1.18	-0.34	0.79
B	1.45	-0.67	0.4	0.39	1.06
C	-3.01	0.0	0.4	-0.87	1.86
D	-1.53	0.85	-0.05	-0.24	1.20
E	-0.04	0.11	-3.14	-1.02	1.83
F	0.21	1.78	4.04	2.01	1.93
機械式	1.83	-0.01	-0.46	0.45	1.21

表-4 施工後のスリーブの出しろ（横向き施工）

（単位：mm）

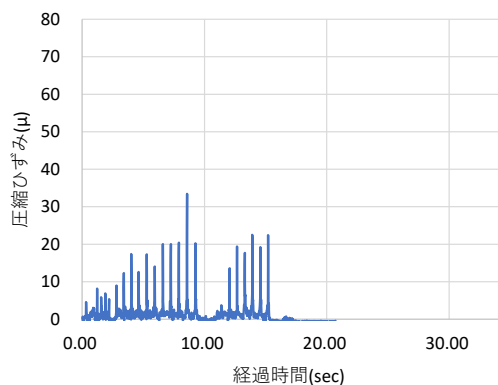
技能者	スリーブの出しろ (mm)			平均 (mm)	標準偏差
	1 本目	2 本目	3 本目		
A	-1.55	-1.95	-0.22	-1.24	0.91
B	-0.4	-3.47	-1.18	-1.68	1.60
C	-1.52	-0.35	-0.22	-0.70	0.72
D	-1.28	-0.65	-0.06	-0.66	0.61
E	-2.21	2.1	-1.73	-0.61	2.36
F	2.8	2.35	-0.02	1.71	1.52
機械式	-0.85	-1.97	-0.36	-1.06	0.83

縮ひずみを測定した。ひずみの測定は、100Hz のサンプリング周波数で行い、施工者（技能者、未経験者）が施工を完了したと判断するまで測定を行った。なお、本論文では圧縮側に生じたひずみを正（プラス）として取り扱うこととした。

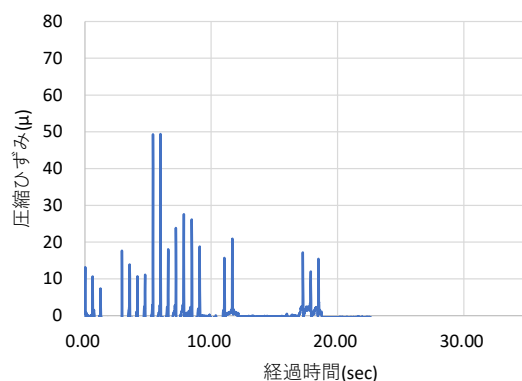
先述のとおり、アンカーの施工は図-2 に示すように下向きと横向きの2種類とし、下向きの場合にはコンクリート板の二辺を角材で単純支持した状態とし、横向きの場合には、コンクリート板を立て、スリングベルトにて締め付けて反力床に固定した状態とした（写真-2）。アンカーの施工は4名の技能者と2名の未経験者（学生）の計6名とし、各施工者は下向き、横向きそれぞれ3本の施工を行った。表-2 に施工者の経験年数と保有資格を示す。図-2 には、施工者毎の施工箇所もあわせて示す。横向き施工に関しては、施工の高さの影響を取り除くために、各施工者が上段、中段、下段の1本ずつ、計3本を施工した（ただし、施工者Fを除く）。また、比較のために同じアンカーを機械式打込み（ハンマードリル）を使用、1回あたりの打撃力11.5J）によって施工したケースも3本ずつ実施した。

2.4 引抜き試験

あと施工アンカーの施工後、引抜き試験を実施した。容量200kNのセンターホールジャッキを用い、引抜き時の荷重と変位を測定した。荷重と変位は、ロードセル（容量300kN、精度100N）と高感度変位計（容量50mm、精度1/200mm）を用いてそれぞれ測定した。



(a) 技能者 A



(b) 技能者 B

図-3 施工時の打撃によって打込み棒に生じたひずみの時刻歴の例（下向き施工、技能者）

3. 実験結果

3.1 スリーブの出しろ

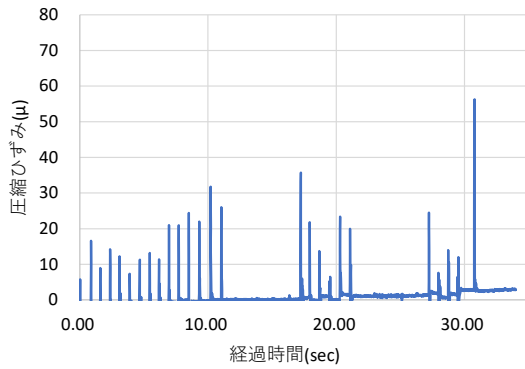
表-3 および表-4 に、ノギス（精度 1/100mm）を用いて測定した施工後のスリーブの出しろの結果を示す。なお、コンクリート表面と同一であれば 0mm であり、打込み不足によりコンクリート表面からスリーブが突出している方向をプラスとした。

下向き施工に関しては、技能者のスリーブ出しろの平均値は 0mm 付近であるのに対し、未経験者（E, F）の平均値の絶対値は大きく、特に未経験者 F はプラス側に大きく打込み不足と推察される。また標準偏差に関しては、特に経験年数が長い技能者 A, B の値が小さい結果となった。

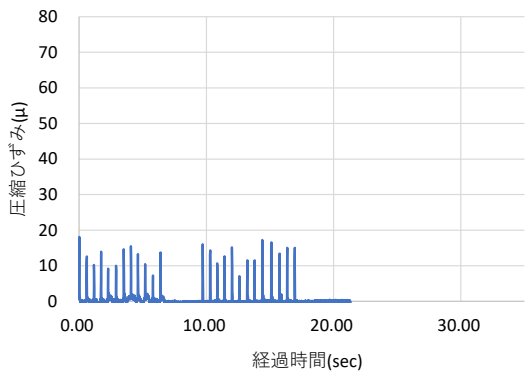
横向き施工に関しては、先述のとおり穿孔深さが大きかったこともあり、スリーブ出しろの平均値はマイナス傾向にあり、十分に打込まれたことを示している。また、標準偏差に関しては技能者と未経験者での差が大きい結果となった。

3.2 打撃により生じるひずみ

打込み棒に生じたひずみゲージにより測定された圧縮ひずみ（2 枚の平均値）について、下向き施工での例を図-3 および図-4 に示す。例えば、技能者 A は徐々



(e) 未経験者 E



(f) 未経験者 F

図-4 施工時の打撃によって打込み棒に生じたひずみの時刻歴の例（下向き施工，未経験者）

に圧縮ひずみ（みかけの打撃力に相当）が大きくなっていき、一旦打込み状況を確認した後、再度打撃をしていく施工の様子がひずみ計測からも確認できる。また、未経験者 E では、施工完了に至るまでの時間が長いことや、未経験者 F は、小さな打撃力（小さな圧縮ひずみ）で施工している様子が伺える。なお、図-5 に、用いた打込み棒に対して静的載荷試験を実施し、得られた荷重-圧縮ひずみ関係を示す。これによれば、 20μ のひずみがおおよそ 1.2kN の荷重に相当していることが分かる。

図-6 に下向き施工および横向き施工における打撃回数と圧縮ひずみの関係をそれぞれ示す。なお、圧縮ひずみは、1 本のアンカーを施工した際に生じたひずみの履歴の中での最大ひずみを、打撃回数は圧縮ひずみが 10μ 以上となる回数を数えたものである。

下向き施工，横向き施工のいずれも場合にも，同一のアンカーを施工したにも関わらず，未経験者の打撃回数のばらつきが大きい傾向にあった。

下向き施工では，圧縮ひずみの最大値は技能者 C による約 136μ であり，打撃回数の最大値は，未経験者 F による 33 回であった。図-6(a) に示す技能者のデータのみを用いた近似曲線によれば，ばらつきが大きいものの，大きな打撃力（圧縮ひずみ）により少ない打撃回数で施

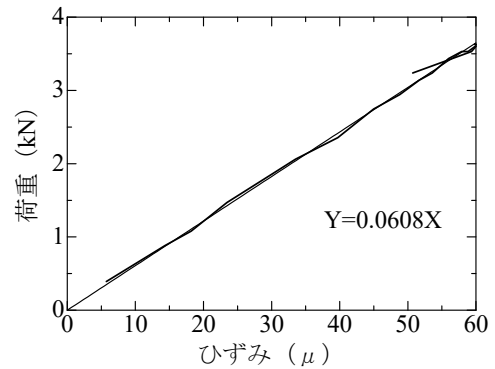
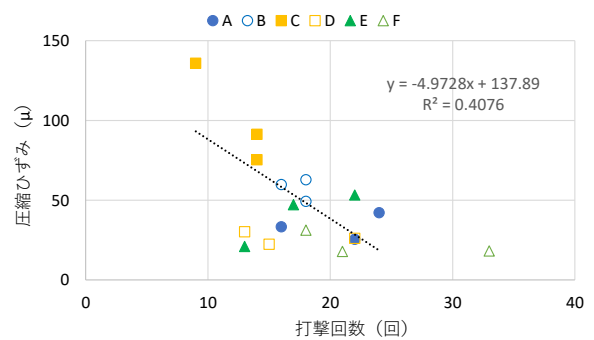
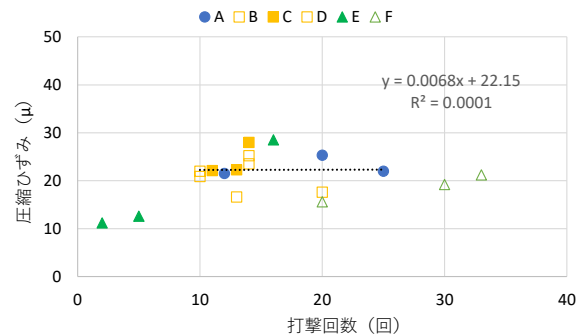


図-5 打込み棒に生じたひずみと荷重の関係（静的載荷試験による）



(a) 下向き施工

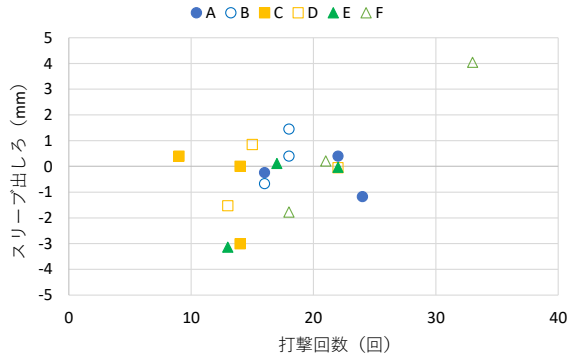


(b) 横向き施工

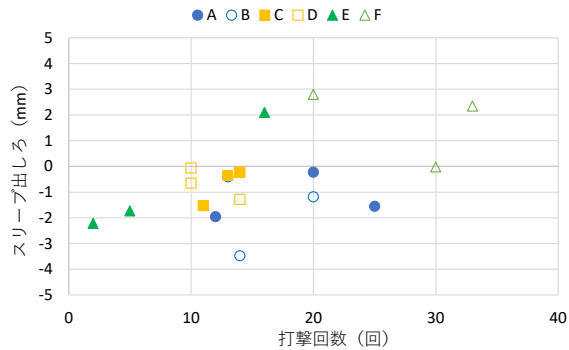
図-6 打撃回数と圧縮ひずみの関係

工完了している傾向が認められ，負の相関が確認された。下向き施工においては， 1.5kg のハンマーを振り上げる程度によって容易に打撃力を調整できることから，打撃力の範囲が大きくなったと推察される。また，下向き施工のコンクリート板において穿孔深さが小さかった理由に述べたとおり，粗骨材量が多く打込み時の反力が大きくなったことも影響していると推察される。

一方，横向き施工では，圧縮ひずみの最大値は未経験者 E による約 29μ であり，打撃回数の最大値は，未経験者 F による 33 回であった。先と同様，図-6(b) に示す技能者のデータのみを用いた近似曲線によれば，横向き



(a) 下向き施工



(b) 横向き施工

図-7 スリーブ出しと打撃回数の関係

表-5 引抜き試験結果

	下向き施工		横向き施工	
	平均値 (kN)	変動係数 (%)	平均値 (kN)	変動係数 (%)
A	79.5	14.4	61.2	15.4
B	79.1	3.1	64.7	6.4
C	65	2.0	49.2	8.1
D	65.2	9.2	59.8	18.8
E	49.7	8.6	52.5	15.4
F	52.2	12.4	61.9	9.1
機械式	83.6	8.9	80.4	7.3

施工では明確な傾向が認められなかった。すなわち、横向き施工では、ハンマーを持つ手の可動域が限られ、打撃力そのものが下向き施工に比べて小さく、かつ打撃力の個人差が生じ難い施工の向きであることが分かる。

なお、施工者 F のみ横向き施工時に高さが異なる実験条件となっていたが、その他の施工者の結果において本実験の範囲内では高さの影響は認められなかったことから、施工者 F の結果もそれ以外と同等に扱うことができると考えられる。

図-7 に下向き施工と横向き施工におけるスリーブ出しと打撃回数を示す。4 名の技能者間における大きな

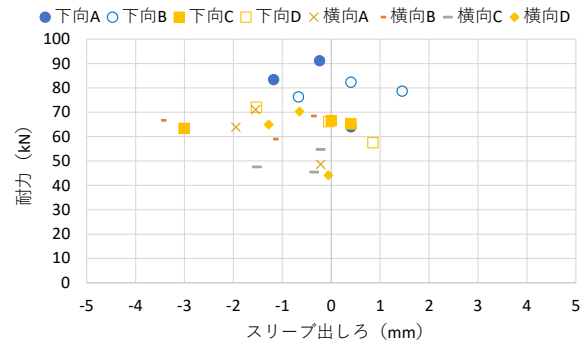


図-8 スリーブ出しと耐力の関係

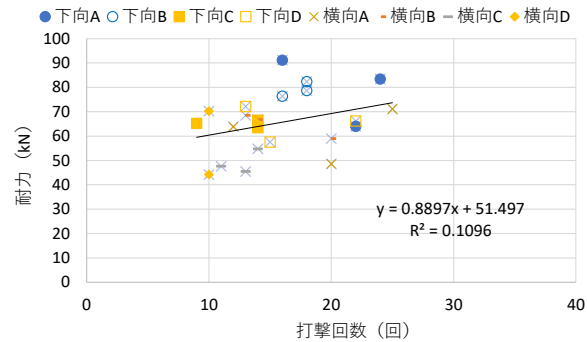


図-9 打撃回数と耐力の関係

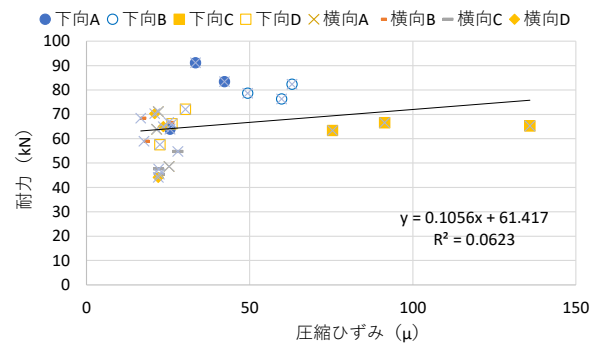


図-10 圧縮ひずみと耐力の関係

差異は認められないが、各技能者は打撃回数 10 回から 20 回の範囲で施工を完了しており、特に技能者 A, B が打撃回数のばらつきが小さい。一方、未経験者は、特に横向き施工において打撃回数が多いにも関わらずスリーブ出しが大きかったり、打撃回数が少ないにも関わらずスリーブ出しが小さいなど、スリーブ出しと打撃回数の関係におけるばらつきが大きい特徴がある。

3.3 引抜き試験結果

表-5 に引抜き試験における耐力の結果（各施工者別の 3 本の平均値と変動係数）を示す。なお、いずれのアンカーもコーン状破壊を呈して破壊した。全体的に下向き施工に比べて、横向き施工の耐力が低い傾向にあること、経験年数が特に長い技能者 A, B が施工した場合の

耐力の平均値が大きい傾向にあることが分かる。また、参考として行った機械式による施工が、いずれの施工の向きにおいても耐力が高く、また施工の方向の違いによる影響も小さいことが分かる。変動係数からみた耐力のばらつきについては、技能者により施工されたアンカーの方がやや変動係数が小さいように見受けられるが、技能者 A や D では大きい場合も見受けられる。

ここで、コーン状破壊を呈して破壊するアンカーの耐力と、スリーブの出しろの関係について考察する。図-8 にスリーブ出しろと耐力の関係を示す。スリーブ出しろと耐力には明確な傾向は認められなかった。一般に、適切な穿孔が行われた条件下で、スリーブ出しろが 0mm となるまで（コンクリート表面とスリーブ上面が一致するまで）打撃することが施工管理上重要とされており、本実験の範囲内では数 mm 程度の範囲であれば影響が少ない結果となった。

3.4 引抜き試験結果と施工の関係

図-9 に技能者のデータのみを対象に、施工時の打撃回数と耐力の関係を示す。下向き施工、横向き施工の違いによらず、打撃回数と耐力について明確な傾向は認められなかったが、近似曲線によれば、打撃回数が多いほど耐力が大きいものが多い傾向にあるといえる。

図-10 に技能者のデータのみを対象に、施工時の圧縮ひずみと耐力の関係を示す。こちらについても、ばらつきが大きく明確な傾向は認められなかったが、近似曲線によれば、圧縮ひずみが大きいほど耐力が大きいものが多い傾向にあるといえる。

以上のとおり、打撃回数ならびに圧縮ひずみと耐力の関係については、その影響が大きいことが分かった。

4. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 施工品質の結果として重要となるアンカーの耐力について、全体的に下向き施工に比べて、横向き施工の耐力が低い傾向にあること、経験年数が特に長い技能者 A、B が施工した場合の耐力が大きい傾向にあった。また、参考として行った機械式による施工が、いずれの施工の向きにおいても耐力が高く、また施工の方向の違いによる影響も小さかった。
- (2) 圧縮ひずみと打撃回数の関係から、下向き施工では負の相関が認められ、大きな打撃力（圧縮ひずみ）により少ない打撃回数で施工完了としていた。下向

き施工においては、ハンマーを振り上げる程度によって容易に打撃力を調整できるため、打撃力の範囲が大きい傾向が認められた。一方、横向き施工では打撃力（圧縮ひずみ）そのものが小さく、また圧縮ひずみと打撃回数との関係において明確な傾向が認められなかった。横向き施工では、ハンマーを持つ手の可動域が限られ、打撃力そのものが下向き施工に比べて小さく、かつ打撃力の個人差が生じ難い施工の向きであると推察される。

- (3) スリーブの出しろに関しては、施工の向きの違いによらず、技能者の結果はいずれも 0mm に近く、そこに至るまでの打撃回数のばらつきが小さい結果であった。言い換えれば、未経験者ではスリーブの出しろが 0mm から離れたものが多く、またそこに至るまでの打撃回数もまちまちであった。

本研究の範囲内では、技能者は施工完了までの打撃回数が少ないこと、3 本の施工において、打撃回数や打撃力（圧縮ひずみ）の大きさのばらつきが未経験者に比べて小さいなど、効率よく一定の施工を行っていることが明らかとなった。一方で、本研究の範囲内では、スリーブ出しろ、圧縮ひずみ、打撃回数が、耐力に与える影響は大きくないことが分かった。

謝辞

本実験の実施にあたり、(株)トラスト谷口博司氏にご協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 松下吉男, 香取慶一, 平田昭彦, 柴田大樹: あと施工アンカーの長期荷重強度に及ぼす施工不良の影響に関する研究, 工業技術: 東洋大学工業技術研究所報告, Vol.37, pp.48-51, 2015
- 2) 川上明大, 中村英佑, 古賀裕久: 載荷方法と施工条件が接着系あと施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響, 土木技術資料, 58-5, pp.12-15, 2016
- 3) フィンミンティン, 國枝稔, 稲熊唯史, 加藤健太, 施工不良を有するあと施工アンカーの引抜き耐力と破壊性状, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集, Vol.21, pp.307-312, 2021