

論文 接着系あと施工アンカーの付着性能に及ぼす節位置・高さおよび穿孔径の影響に関する基礎的研究

西脇 洸瑠*¹・高野 慶貴*²・向井 智久*³・衣笠 秀行*⁴

要旨：接着系あと施工アンカーの付着性能を評価するために、本論では、鉄筋の節位置、節高さおよび穿孔径を水準とする接着系あと施工アンカーを対象とした終局付着試験を実施した。節位置、一定の節高さが最大荷重と最大荷重時変位に与える影響が確認された。また最大荷重・最大荷重時変位を大きく確保するための条件を考察するため、荷重変位関係の最大荷重点までの履歴面積による付着性能の比較を行った。

キーワード：接着系あと施工アンカー、節位置、節高さ、最大荷重、履歴面積

1. はじめに

接着系あと施工アンカー(以下、接着系アンカー)は令和4年の関連告示改正により、適用範囲が構造耐力上主要な部分である部材の接合部にまで拡大され、今後高性能な接着系アンカーの需要や開発が見込まれる。接着系あと施工アンカー強度指定ガイドライン¹⁾では原則JISG3112に適合する異形鉄筋を用いることとされているが、これと同等以上の付着性能を有すると認められる場合はその限りではない。そこで本研究における最終的な目的を付着抵抗機構の解明および合理的な設計式の提案とし、本稿ではそれに資する研究として付着性能に影響を与えると想定される様々な要因のうち、節位置、高さ、穿孔径を水準とした試験体を用いた終局付着試験を行った。付着強度、最大荷重時変位、履歴面積に与える影響および、高性能な接着系あと施工アンカーにおける節特性、穿孔径の条件を検討する。なお、付着強度の

みが高い場合、大地震等による大きな荷重によりすぐに破壊して、接着系アンカーが使用されている部材が脱落する危険性がある。そのため、付着強度と併せて最大荷重時変位を大きく確保することによる余裕度の確保が重要であると考えられる。そこで付着強度と最大荷重時変位の両方を大きく確保できていることを直接評価するために、荷重変位関係の最大荷重点までの面積(以下、履歴面積)にも着目した。また本検討における高性能とは、付着強度95%信頼限界値が付着強度である15 N/mm²以上¹⁾かつ、JISG3112に適合する異形鉄筋を用いた試験体の履歴面積を超えることとした。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

表-1に基準とする異形鉄筋(JISG3112)を含む終局付着試験体の一覧(全65体)を示す。なお、試験体名のSの添え字は節の位置(自由端側:f, 載荷端側:l)を示し、ま

表-1 試験体一覧

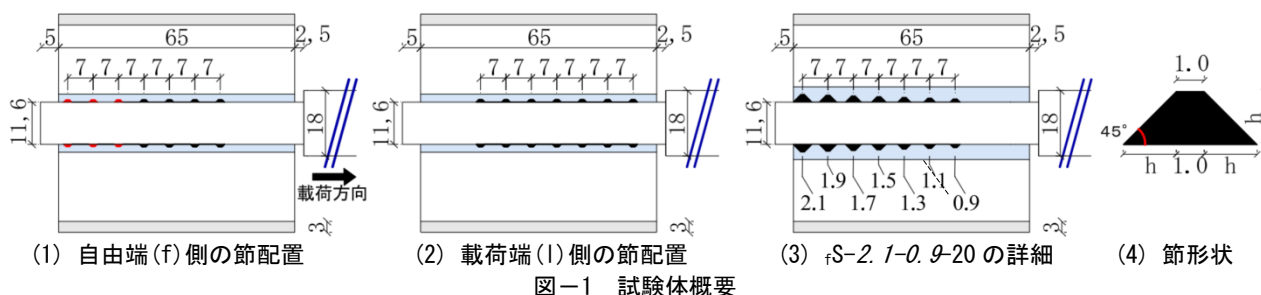
試験体名	コンクリート 圧縮強度(N/mm ²)	節位置	節ピッチ (mm)	節数 (個)	節高さ (mm)	穿孔径 (mm)	付着長さ (mm)
異形鉄筋	43.1	—	最大 8.9	8	0.5~1.0	16	65
S-0-0-16	41.0	—	—	—	—	16	
fS-3-0.7-16		自由端	7	3	0.7	16	
fS-7-0.7-16				7	0.7	16	
fS-7-0.7-20						20	
fS-7-0.7-24						24	
fS-7-1.4-18					1.4	18	
fS-7-1.4-20						20	
fS-7-2.1-20					2.1	20	
fS-7-2.1-0.9-20					2.1 ↓ 0.9	20	
fS-7-0.7-16		載荷端	7	7	0.7	16	
fS-7-1.4-18					1.4	18	
fS-7-2.1-20					2.1	20	

*1 東京理科大学 創域理工学部建築学科 (学生会員)

*2 東京理科大学 創域理工学研究科建築学専攻 (学生会員)

*3 国土交通省 国土技術政策総合研究所 構造基準研究室長 博士(工学) (会員)

*4 東京理科大学 創域理工学部建築学科教授 博士(工学) (会員)



たこれに続き節数、節高さ(斜体)、穿孔径の順で記載した。いずれの試験体も節ピッチは7mmで、コンクリート圧縮強度(σ_B)は異形鉄筋の試験体は43.1 N/mm²、それ以外は41.0 N/mm²である。図-1(1)に節位置が自由端側の試験体(節7個、穿孔径16mm)、(2)に荷端側の試験体(節7個、穿孔径16mm)、(3)に試験体 iS-2.1-0.9-20の詳細、(4)に節形状を示した。なお、節3個の場合は図-1(1)で赤く記した節の位置に配置されており、節形状は図-1(4)のように高さhに対して、外側の幅は1.0mm、内側の幅は2h+1.0mmで節角度は45度である。試験体のN数は5体、使用したアンカー筋はD13相当(SBPR1080竹節)で、付着長さは65mmである。試験体の穿孔は湿式のダイヤモンドコアドリルで行い、接着剤はエポキシ系のカートリッジ型注入方式を使用し、固着は先充填・後挿入で施工した。また、コンクリートの割裂破壊を防止するためにアルミの拘束鋼管を用いた。

節位置が自由端側の試験体に関して、節数の水準は3個と7個で、さらに7個の試験体は節高さの水準が0.7mm、1.4mm、2.1mm、自由端側から荷端側にかけて2.1mmから0.9mmまで0.2mmずつ低くなる試験体の4種である。穿孔径の水準は、節高さ0.7mmの場合は16mm(iS-7-0.7-16)、20mm(iS-7-0.7-20)、24mm(iS-7-0.7-24)、節高さが1.4mmの場合は18mm(iS-7-1.4-18)、20mm(iS-7-1.4-20)、節高さが2.1mmから0.9mmまで低くなる試験体は20mm(iS-7-2.1-0.9-20)である。一方、節位置が荷端側の試験体に関して、いずれの試験体も節数は7個で、その他の水準は、節高さ0.7mmかつ穿孔径16mm(iS-7-0.7-18)、節高さ1.4mmかつ穿孔径18mm(iS-7-1.4-18)、節高さ2.1mmかつ穿孔径20mm(iS-7-2.1-20)である。

2.2 加力計測計画

図-2に終局付着試験の荷装置概要を、図-3に終

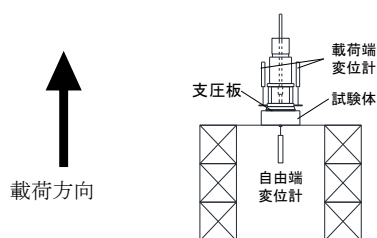


図-2 終局付着試験の装置概要

局付着試験の実施状況を示す。

試験は油圧式加力で行い、ジャッキに取り付けた荷端変位計の計測上限が約20mmであるため、荷端・自由端変位の測定上限は20mmとしたが、不足した場合は除荷をしたのち変位計を盛替え、再度荷重を行った。

3. 実験結果

表-2に終局付着試験結果一覧(最大荷重時変位の平均値とその標準偏差、変動係数、最大荷重の平均値とその標準偏差、変動係数、付着強度の95%信頼限界値、平均付着強度)を、図-4に試験後の試験体の損傷状態を、図-5~16に各試験体のうち、代表1体の試験体における荷重変位(自由端)関係を示した。荷重変位関係のグラフ上にN数5体の最大荷重の平均値(赤線)および最大荷重時変位の平均値(緑線)を示した。以下、最大荷重の平均値及び、最大荷重時変位の平均値を最大荷重、最大荷重時変位と表記する。付着強度算定にはコンクリート圧縮強度 σ_B を考慮した式(1)を用いており、式(2)は各試験体における標準偏差、式(3)は付着強度の信頼度95%信頼限界値 $\tau_{0.95}$ である。¹⁾本検討に比較分析には、ばらつきを考慮した付着強度の95%信頼限界値 $\tau_{0.95}$ を用いる。

$$\tau_n = (P_{\max} / (\pi \cdot d \cdot l)) \cdot \sqrt{21 / \sigma_B} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\sum_{n=1}^N (\tau_{ave} - \tau_n)^2 / (N - 1)} \quad (2)$$

$$\tau_{0.95} = \tau_{ave} - t \cdot s \quad (3)$$

ここで、 τ_n ：個々の試験における付着強度(N/mm²)、 $P_{\max}$ ：最大荷重(N)、 d ：鉄筋径(mm)、 l ：付着長さ(mm)、 σ_B ：コンクリート圧縮強度(N/mm²)、 τ_{ave} ：5体の平均付着強度(N/mm²)、 $\tau_{0.95}$ ：付着強度の95%信頼限界値(N/mm²)、 t ：t分布表の片側95%の信頼限界を与える数値(N=5の時t=2.132)、 s ： τ_n の標準偏差(N/mm²)、基準付着強度は最大で15 N/mm²



図-3 終局付着試験の実施状況

表-2 終局付着試験結果一覧

試験体名	節位置	節数(個)	節高さ(mm)	穿孔径(mm)	コンクリート強度 σ_B (N/mm ²)	最大荷重時変位の平均値(mm)	標準偏差(mm)	変動係数	最大荷重の平均値(kN)	標準偏差(kN)	変動係数	付着強度95%信頼限界値 $\tau_{0.95}$ (N/mm ²)	付着強度平均 τ_{ave} (N/mm ²)
異形鉄筋	—	8	0.5~1.0	16	43.1	3.54	0.97	0.27	62.9	3.43	0.05	14.61	16.53
S-0-0-16	自由端	—	—	16	41.0	3.66	6.47	1.77	22.1	2.39	0.11	4.43	8.34
iS-3-0.7-16		3	0.7	16		13.28	1.70	0.13	53.5	1.12	0.02	13.69	14.41
iS-7-0.7-16		7	0.7	16		2.50	0.50	0.20	92.5	2.20	0.03	23.13	24.93
iS-7-0.7-20				20		2.46	0.44	0.18	103.2	1.63	0.02	26.79	27.83
iS-7-0.7-24				24		3.09	0.17	0.06	104.9	4.02	0.04	25.71	28.29
iS-7-1.4-18			1.4	18		1.82	0.45	0.25	117.7	2.20	0.02	30.41	31.71
iS-7-1.4-20				20		2.29	0.82	0.36	117.8	2.24	0.03	30.30	31.74
iS-7-2.1-20				20		1.17	0.22	0.19	122.5	3.59	0.04	30.73	33.04
iS-7-2.1-0.9-20			2.1 ↓ 0.9	20		3.06	0.53	0.17	119.0	2.3	0.04	30.56	32.09
iS-7-0.7-16	載荷端	7	0.7	16		1.34	0.24	0.18	68.3	2.20	0.02	17.01	18.42
iS-7-1.4-18			1.4	18		1.16	0.21	0.18	91.0	2.15	0.06	21.23	24.54
iS-7-2.1-20			2.1	20		1.41	0.29	0.21	96.9	4.39	0.05	23.30	26.12

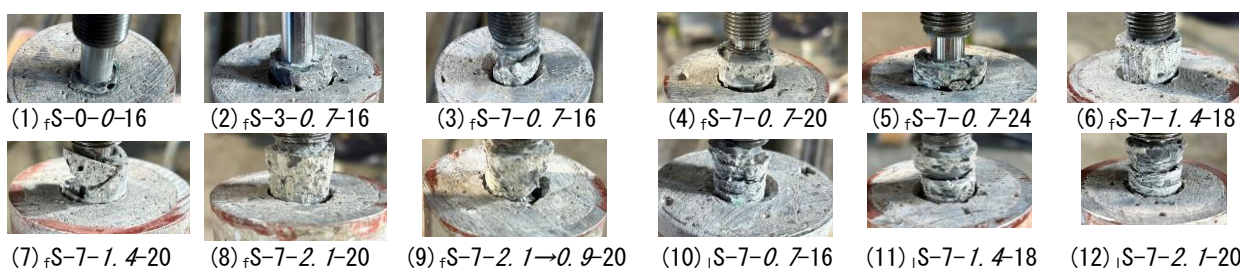


図-4 実験後の試験体(載荷端側)

3.1 異形鉄筋，丸鋼試験体(S-0-0-16)

異形鉄筋の付着強度 95%信頼限界値(以下， $\tau_{0.95}$)は14.61N/mm²であった。S-0-0-16 は文献²⁾と同様，図-5に示したように最大荷重到達後，10kN 程度荷重が低下し，その後載荷終了まで概ね一定の荷重を維持したまま変位のみ増加した。

3.2 自由端側に節を有する試験体

(1) 全長に渡る節高さが0.7mmの試験体

表-2 より節3個(iS-3-0.7-16)の $\tau_{0.95}$ は節7個(iS-7-0.7-16)と比べて小さい。一方で最大荷重時変位は節3個の試験体の方が大きく，節7個の図-7(iS-7-0.7-16)と比べ，図-6(iS-3-0.7-16)ように靱性的な挙動を示しており，文献²⁾と同様の傾向が確かめられた。表-2，図-7，8，9より穿孔径20mm(iS-7-0.7-20)の $\tau_{0.95}$ は穿孔径16mm(iS-7-0.7-16)より3.5 N/mm²程度大きく，穿孔径24mm(iS-7-0.7-24)の $\tau_{0.95}$ はiS-7-0.7-20より1.0 N/mm²程度小さいため，節高さ0.7mmの場合， $\tau_{0.95}$ の増加率が穿孔径20mmで頭打ちとなった。一方で最大荷重時変位は，iS-7-0.7-16とiS-7-0.7-20は同程度だが，iS-7-0.7-24の最大荷重時変位はそれらの1.2倍以上大きい。以上より節高さ0.7mmに対して穿孔径を大きくしていくと，20mmを境目に最大荷重時変位が大きくなることが確認された。

(2) 全長に渡る節高さが1.4mmの試験体

表-2 より節高さ1.4mm(iS-7-1.4-18，iS-7-1.4-20)の $\tau_{0.95}$ は同程度であるが，最大荷重時変位は穿孔径が大きいiS-7-1.4-20が1.3倍程度大きい。図-10，11の比較より，節高さ1.4mmの場合でも穿孔径のみが異なることによる荷重変位関係の挙動への影響は小さい。

(3) 全長に渡る節高さが2.1mmの試験体

表-2 より，節位置が自由端側，節7個の試験体において，節高さ2.1mm(iS-7-2.1-20)の $\tau_{0.95}$ は最大であり，最大荷重時変位は最小であった

(4) 全長に渡る節高さが変化する試験体

iS-7-2.1-0.9-20は節高さのみが異なるiS-7-1.4-20，iS-7-2.1-20と同程度の $\tau_{0.95}$ であり，かつ最大荷重時変位はiS-7-0.7-20よりも大きく，高い節高さを有するメリットと低い節高さを有するメリットを兼ね備えた節配置であることが確認された。なお，図-13よりiS-7-2.1-0.9-20は，節7個の試験体において最大荷重到達後も比較的高い荷重を保ちながら変形が進むことがわかる。

3.3 載荷端側に節を有する試験体の結果

表-2 より，節配置が自由端側の場合に比べ載荷端側の場合は最大荷重の変動係数が比較的大きい。 $\tau_{0.95}$ に関して，載荷端側(iS)が自由端側(iS)の場合の80%以下で

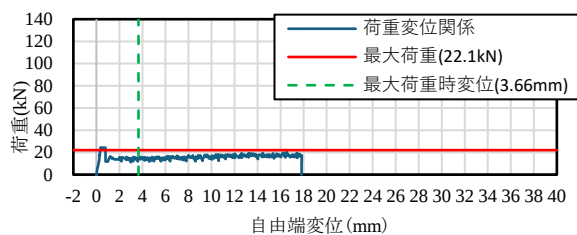


図-5 荷重-変位関係 (S-0-0.16)

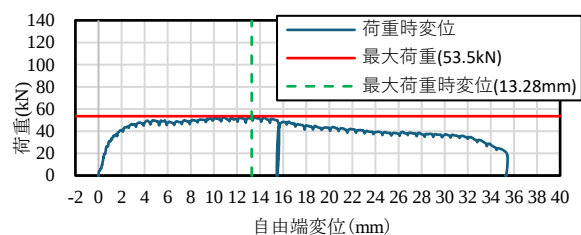


図-6 荷重-変位関係 (f_s -3-0.7-16)

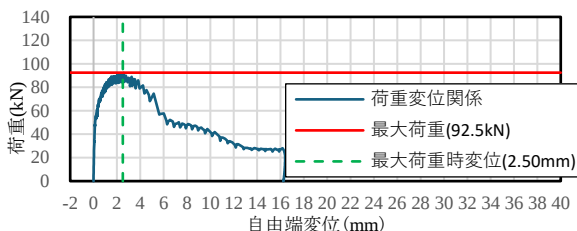


図-7 荷重-変位関係 (f_s -7-0.7-16)

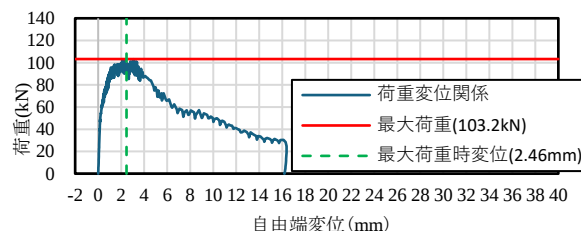


図-8 荷重-変位関係 (f_s -7-0.7-20)

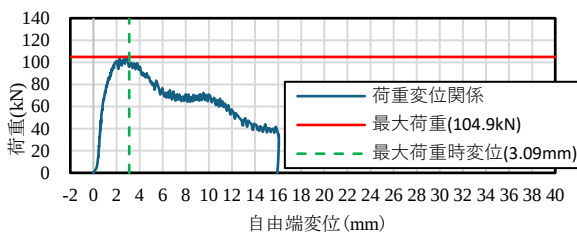


図-9 荷重-変位関係 (f_s -7-0.7-24)

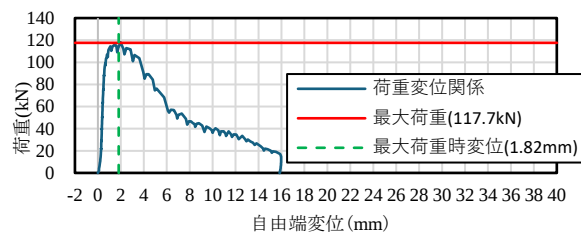


図-10 荷重-変位関係 (f_s -7-1.4-18)

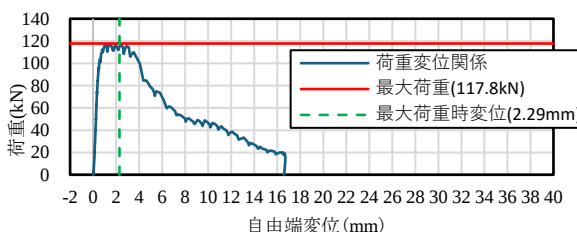


図-11 荷重-変位関係 (f_s -7-1.4-20)

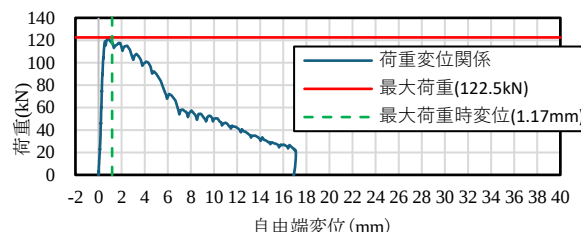


図-12 荷重-変位関係 (f_s -7-2.1-20)

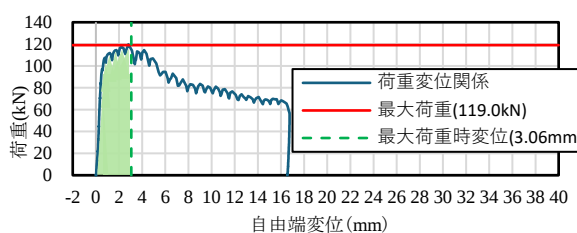


図-13 荷重-変位関係 (f_s -2.1-0.9-20)

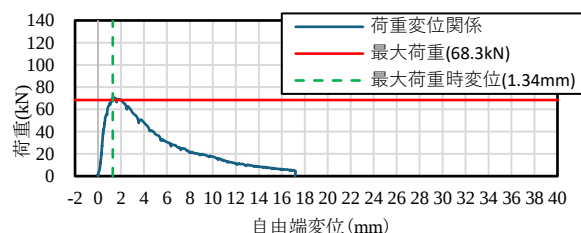


図-14 荷重-変位関係 (f_s -7-0.7-16)

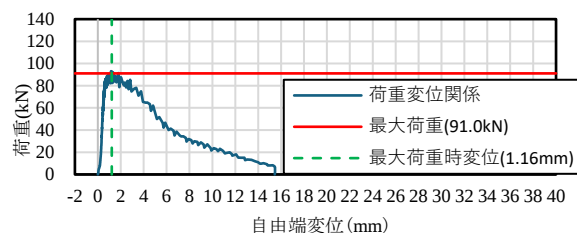


図-15 荷重-変位関係 (f_s -7-1.4-18)

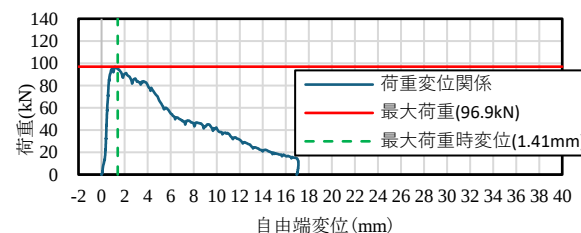


図-16 荷重-変位関係 (f_s -7-2.1-20)

あった。また節位置が載荷端側の最大荷重時変位が、節高さ 0.7mm の場合 50%程度、節高さ 1.4mm の場合 40%程度小さい。一方で節高さ 2.1mm の場合、節位置が自由端側と載荷端側の最大荷重時変位は概ね同程度であり、節高さ 0.7mm, 1.4mm から得た傾向とは異なる結果であった。

4. 考察

4.1 付着強度

本検討の高性能な接着系アンカーの定義の 1 つである、付着強度 95%信頼限界値 $\tau_{0.95}$ が 15 N/mm²以上に関して、節 7 個の試験体はいずれも満足していた。

(1) 節高さの違いによる影響

表-2 より節配置が自由端側、節 7 個、穿孔径 20mm の条件 (IS-7-0.7-20, IS-7-1.4-20, IS-7-2.1-20) の試験体における、節高さと節ピッチの比 (H/L) は 0.1, 0.2, 0.3 である。 $\tau_{0.95}$ の結果について、節を高くし H/L を大きくすることで付着強度 (最大荷重) の向上が見られるが、 H/L が 0.2 (節高さ 1.4mm) 以上で頭打ちするため、有効な H/L には上限が存在し、必ずしも節高さが高いことが荷重増加に寄与しないことが示唆される。なお、文献 3 では鉄筋コンクリートでは H/L が 0.125 を境に付着強度増加が頭打ちするという同様の傾向が確認されている³⁾ IS-7-2.1-0.9-20 が、節高さが一定の IS-7-2.1-20 と同程度の付着強度を発揮したことから、節がある一定区間に配置される試験体では、自由端側に配置された節高さが付着強度に影響を与えることが推測される。最も効果的な節高さの変化のさせ方は、今後も検討の余地がある。

(2) 穿孔径の違いによる影響

表-2 より節位置が自由端側、節 7 個、節高さ 0.7mm の条件 (IS-7-0.7-16, IS-7-0.7-20, IS-7-0.7-24) における比較から、穿孔径を大きくして接着剤の厚みを増すことによる付着強度の増加傾向が見られるが、節高さ 0.7mm の場合は穿孔径 20mm 時の接着剤の厚みが上限であった。一方、節位置が自由端側、節 7 個、節高さ 1.4mm の条件 (IS-7-1.4-18, IS-7-1.4-20) でも同様の傾向があると考えられるが、本検討の穿孔径の範囲では上限は確認されず、20mm よりも大きい穿孔径にすることで付着強度の増加を図ることができると考えられる。大きい付着強度を確保するための、節高さに応じた適切な穿孔径が存在することが示唆されるが、詳細な節高さと穿孔径の関係の解明には接着剤の物性を含めた更なる検討が必要である。

4.2 最大荷重時変位

(1) 節位置・個数の違いによる影響

表-2 より節位置のみが異なる試験体について節高さ 0.7mm, 1.4mm の結果および、自由端側に節を 3 個配置した IS-3-0.7-16 の変位が IS-7-0.7-16 と比べて 5 倍以上大

きいことから、載荷端に節を設けないこと及び、載荷端部に節の影響が集中することを避けることが最大荷重時変位の増大に繋がると考えられる。

(2) 節高さの違いによる影響

表-2 より、4.1 (1) 同様の条件において、節高さが一定の場合、載荷端側に高い節があると比較的小さい変位でコンクリートまたは接着剤に破壊が生じていると推測される。また節高さを変化させ、載荷端側に比較的低い節を配置した IS-7-2.1-0.9-20 は、節高さが一定の 3 シリーズよりも最大荷重時変位が大きい。4.3 (1) で確認した傾向及び、上記の節高さ一定の試験体の比較による考察を考慮すると、載荷端側の節高さを低くし、載荷端部に与える節の影響を抑えることで、最大荷重時変位を大きくとることができたと推察される。

(3) 穿孔径の違いによる影響

表-2 より、4.1 (2) 同様の条件において IS-7-0.7-24 の最大荷重時変位が最大で、また IS-7-1.4-18 より、IS-7-1.4-20 の最大荷重時変位が大きいため、接着剤の厚みが最大荷重時変位に影響を及ぼすと考えられるが、4.1 (2) 同様に、原因特定には接着剤の物性を含めた更なる検討が必要である。

4.3 履歴面積

表-3 に、節 7 個の試験体の履歴面積の平均および標準偏差、変動係数を示す。なお、図-13 に示したように、荷重変位関係の最大荷重点までの面積を履歴面積として扱う。

(1) 節位置の違いによる影響

表-3 より節位置の違いが付着性能に及ぼす影響によって、節位置が自由端側の試験体の方が大きく、4.2 (1) と同様に履歴面積の点からも自由端側に節を配置することが効果的であることが確認された。

(2) 節高さ、穿孔径の違いによる影響

表-3 より、4.1 (1) 同様の条件において、IS-7-0.7-20, IS-7-1.4-20, JIS 規格の異形鉄筋を用いた試験体の履歴面積は同程度だが、IS-7-2.1-20 の変位は 50%程度小さいため、それに伴い履歴面積も 50%程度小さい。また、IS-7-2.1-0.9-20 は最大荷重、最大荷重時変位がともに大きいため、履歴面積は節 7 個の試験体において最大である。4.1 (2) 同様の条件においても、最大荷重時変位の影響が大きいことを確認した。以上より、履歴面積には最大荷重時変位の影響が大きく、この 2 つの大小関係が概ね一致していることを確認した。

(3) 変動係数と高性能接着系アンカー

異形鉄筋以上の履歴面積を発揮した試験体は複数あり、最大荷重時変位の増加に優位な条件を満たす試験体 (IS-7-2.1-0.9-20, IS-7-0.7-24) は特に履歴面積を大きい。また異形鉄筋の変動係数を基準とすると IS-7-1.4-20 は変動

表－3 節 7 個試験体の履歴面積・標準偏差・変動係数一覧

試験体名	節位置	節数 (個)	節高さ (mm)	穿孔径 (mm)	履歴面積 平均値 (kN・mm)	履歴面積 標準偏差 (kN・mm)	履歴面積 変動係数
異形鉄筋	－	8	0.5~1.0	16	193.2	53.4	0.28
iS-7-0.7-16	自由端	7	0.7	16	207.8	65.9	0.32
iS-7-0.7-20				20	208.4	65.8	0.32
iS-7-0.7-24				24	255.5	63.4	0.25
iS-7-1.4-18				18	151.9	38.7	0.25
iS-7-1.4-20			1.4	20	208.0	86.8	0.42
iS-7-2.1-20				20	87.8	17.2	0.20
iS-7-2.1-0.9-20			2.1 ↓ 0.9	20	315.9	89.7	0.28
iS-7-0.7-16	載荷端	7	0.7	16	62.3	12.7	0.20
iS-7-1.4-18			1.4	18	66.2	14.7	0.22
iS-7-2.1-20			2.1	20	84.0	19.8	0.24

係数が大きく、表－2 より、iS-7-1.4-20 は最大荷重時変位の変動係数が比較的大きいためであると考えられる。高い性能を発揮する条件の検討において、性能のばらつきを抑えることも重要であると考えられるが、本検討では変動係数が大きく出た。そのため、実験結果のばらつきを定量的に評価する手法、ばらつきを考慮した実験結果の算出法の確立は今後の課題とする。

5. まとめ

本研究では異なる節形状、穿孔径を有する接着系あと施工アンカーの付着性能評価に関する検討を行った。本研究の範囲で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 付着強度に関して、節位置が自由端側の試験体の方が付着強度は大きい。また節位置が自由端側で、かつ節ピッチ(L)が7mm、節高さ(H)が0.7mm、1.4mm、2.1mmである試験体では、付着強度の増加率は H/L が0.2(節高さ1.4mm)で頭打ちしており、必ずしも節高さが高いことが荷重増加に寄与せず、鉄筋コンクリートにおける付着性能と同様の傾向を示した。なお、節高さが全長に渡り変化する試験体(2.1mm(自由端側)から0.9mm(載荷端側)へ0.2mmずつ低くなる)は、節高さ1.4mmや2.1mmと同程度の付着強度を発揮した。このことから、ある一定高さの節が付着強度に与える影響や、自由端側に高い節を配置することの有効性を確認した。
- (2) 最大荷重時変位に関して、節位置が自由端側の方が最大荷重時変位は大きい。また節位置が自由端側で、かつ節高さが0.7mm、1.4mm、2.1mmである試験体において、最大荷重時変位は節高さが高いほど小さい。なお、節高さが全長に渡り変化する試験体の最大荷重時変位は節高さが0.7mmのそれより約1.2倍大きく、節7個の試験体の中で最大であった。これは、載荷端側に高い節がある場合、比較的小さい変

位でコンクリートおよび接着剤に破壊が生じていると推測され、最大荷重時変位を大きくするには、載荷端側から自由端側に向かって節高さを高く変化させることで、載荷端側に配置された節を比較的低い節高さにすることが有効であると考えられる。

- (3) 履歴面積に関して、履歴面積の大小関係は最大荷重時変位の大小関係と概ね一致しており、最大荷重時変位を大きくとることができる試験体はより高性能であることを確認した。また、最大荷重および最大荷重時変位ともに大きいのは、節高さが全長に渡り変化する試験体であった。
- (4) 最大荷重時変位及び、履歴面積の変動係数は大きい傾向があるため、性能のばらつきを抑えるための条件の検討も必要であると考えられる。一方で、実験結果のばらつきを定量的に評価する方法が確立されておらず、さらなる検討が必要である。

謝辞

本実験の実施にあたり、国立研究開発法人建築研究所構造研究グループの坂下氏、中村氏に協力頂き実施した実験です。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 一般財団法人日本建築防災協会：接着系あと施工アンカー強度指定申請ガイドライン改訂版，2024.3
- 2) 高野慶貴・向井智久・崔烘福・有木克良：異なる節を有する接着系あと施工アンカーの付着性能評価，日本コンクリート工学会，コンクリート工学年次論文集，Vol.46，No.2，pp.751-756，2024
- 3) 赤司二郎，藤井栄，森田司郎：コンクリートの強度と鉄筋のふし形状が付着特性に与える影響，日本コンクリート工学会，コンクリート工学年次論文集，Vol.13，No.2，pp.127-132，1991.7