

# 論文 接着系あと施工アンカーの予測引張破壊荷重に関する実験的研究

大和 征良<sup>\*1</sup>・山本 泰稔<sup>\*2</sup>・近藤 龍哉<sup>\*3</sup>

**要旨:** 異形鉄筋 D19 をアンカー筋とする接着系注入方式あと施工アンカーの単体と群体の引張破壊実験を行った。既往の文献<sup>1)</sup>より破壊モードごとに分類し、日本建築防災協会の耐震改修設計指針接着系あと施工アンカーの設計引張強度(引張耐力)算定式を基本に、予測引張破壊荷重について算定式を提案し、破壊モードを含めた実験値との比較検討を行った。コンクリート実強度、鋼材破断実強度及び実験付着強度を用いてコンクリートコーン状破壊で決まる算定式に調整係数  $\alpha_1$  を乗じることで、予測引張破壊荷重値と実験値及び各々の破壊モードを概ね評価することができることを実証した。

**キーワード:** 接着系あと施工アンカー, 単体, 群体, 予測引張破壊荷重, 終局引張耐力, 設計引張耐力

## 1. はじめに

近年 1981 年以前の耐震基準で建築された RC 造の集合住宅等における耐震補強の需要も増えており、袖壁増設補強で居住しながら補強設計を行う事例も徐々に増加している<sup>2)3)4)</sup>。その際、袖壁端部や柱脚接合部に用いる接着系あと施工アンカーは、主として引張力の作用が重要となる<sup>5)</sup>。日本建築防災協会の耐震改修設計指針では、接着系あと施工アンカーの設計引張強度(設計引張耐力)の算定式が定められている<sup>15)</sup>。大地震動時、アンカーの破壊時の引張荷重や最大引張荷重及び破壊モードを概ね予測することも重要と考えられるが、接着系あと施工アンカーの単体・群体の予想引張破壊荷重について言及された報告は数少ない<sup>6)7)8)9)10)</sup>。そこで、本論文では、単体・群体の接着系あと施工アンカーで、居住しながら耐震補強を行うために必要な低振動・低騒音・低粉塵工法で必須となる注入方式の引張破壊実験の結果を用いて、実験値と設計引張強度の比較を行うと共に、予測引張破壊荷重の算定式を提案し、実験値との比較検討を行う。

系あと施工アンカーは、高性能エポキシ樹脂系の注入方式である。アンカー筋は径が種類降伏点で 2 種類の D19 (SD295A と SD345) の異形鉄筋を用いて、先端は寸切りにしたものとした。パラメータは、アンカー筋埋込み深さ、アンカー筋規格、コンクリート強度であり、建築防災協会の耐震改修設計式<sup>15)</sup>で示されている 3 つの破壊モードを想定して設定した。表-1 に異形鉄筋の材料試験結果を示す。図-1 に引張実験加力装置を示す。加力はいずれも単調載荷とし、変位はアンカー筋のコンクリート表面からの抜け出し量を参考までに測定した。ただし、抜け出し量には、埋込み以外にアンカー筋の露出部分の伸び量も含まれている。

## 2. 単体引張破壊実験の概要と結果

### 2.1 実験概要<sup>11)</sup>

実験は、単体の接着系あと施工アンカーの引張破壊性能検証実験<sup>11)</sup>であり、(社)日本建築あと施工アンカー協会のあと施工アンカー標準試験方法(案)・同解説に準拠して公的試験機関で行った。実験に用いたコンクリートブロック供試体の形状は、縦 2000mm×横 3000mm×厚さ 400mm の形状の無筋コンクリートであり、あと施工アンカーの打設においては、へりあき寸法やアンカーピッチが強度や変形性能に影響しないように配慮し、打設位置を決定した。下穴の穿孔においては、居住しながら補強を行うことを想定して低振動・低騒音・低粉塵の手持ち式ダイヤモンドコアドリル<sup>12)13)</sup>を用いた。使用した接着

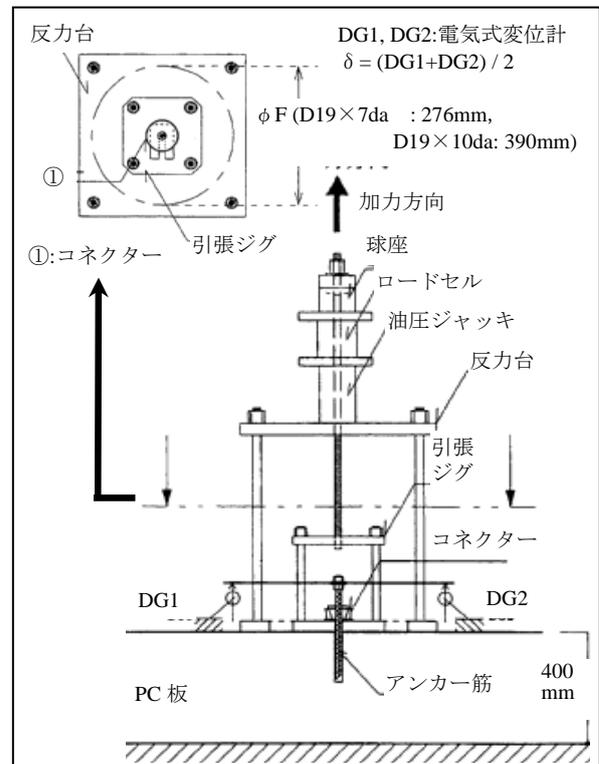


図-1 引張実験加力装置図

\*1 日本ヒルティ 技術本部 修士(工学) (正会員)

\*2 芝浦工業大学 名誉教授 工学博士 (正会員)

\*3 工学院大学 建築学部 准教授 博士(工学) (正会員)

表-1 アンカー筋材料試験結果

	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	破断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)
D19 (SD295A)	366	534	26
D19 (SD345)	406	603	22

## 2.2 実験結果

表-2 に引張実験に使用したアンカーの概要と最大引張荷重( $P_{max}$ )(kN)、終局時変位量及び破壊モードを示す。母材コンクリート強度は、実験時に行ったコンクリートの圧縮試験の実強度を記載している(コンクリートの圧縮試験を行った際の材令は約2週間であった)。母材コンクリート圧縮強度は16.5(MPa)、35.5(MPa)の2とおり、アンカー筋埋込み深さは190mm( $10d_a$ )、133mm( $7d_a$ )の2とおり(有効埋込み深さも190mm( $10d_a$ )、133mm( $7d_a$ ))である。また、変位についてはあくまで参考値として、最大引張荷重( $P_{max}$ )の20%耐力低下時の変位までは有効であるとする慣用の方法<sup>14)</sup>を採用して計測したが、アンカー筋破断モードの試験体は、全て最大引張荷重に達した直後にアンカー筋が破断したため、最大引張荷重時の変位をそのまま記載することにした。表-2より、同じ破壊モード3体の最大引張荷重と変位を見るに、アンカー筋破断モードの試験体(試験体番号①②③)と比較し、コンクリート破壊モード(④⑤⑥)、付着破壊モード(⑦⑧⑨)の試験体は各々3体の結果のばらつきが大きいと言える。

## 3. 群体引張破壊実験の概要と結果

### 3.1 実験概要

実験は、居住しながらの施工が可能な耐震補強工法の一つである増厚袖壁工法<sup>5)</sup>を念頭に、既存基礎梁と増厚袖壁とを一体化するための水平接合部をイメージした実物大の群アンカーの引張実験である。実際の試験体寸法や状況写真並びに加力装置と加力装置への試験体の設置状況等、図-2~図-10に示す。試験体数は1体である。群アンカーのアンカー筋はD19(SD345)で4本、コンクリートへの埋込み深さ(有効埋込み深さ)は228mm( $12d_a$ )、加力装置は図-7のような建研式逆対称加力装置を用いてパンタグラフによって平行が保持される鉛直アクチュエーターにより4本の群アンカーに均等に鉛直荷重を加えた。水平荷重は常にゼロとした。鉛直荷重の載荷履歴は、±78.4kN(アンカー筋降伏強度の±20%荷重時)、±156.8kN(±40%)、±235.2kN(±60%)の加力を1回行ったあと、最終破壊まで引張荷重(鉛直荷重)を加え続けた。鉛直荷重をアンカー筋に作用させる詳細接合部を図-8~図-10に示す。また、図-2~図-5に基礎梁既存コンクリートの寸法を示す。アンカーの筋のアンカーピッチは200mm、へりあき寸法は120mm、180mmである(図-5)。アンカー下穴の穿孔においては、ハンマードリルを用いた。使用した接着系あと施工アンカーは、高性能エポキシ樹脂系の注入方式である。試験体の母材コンクリート圧縮強度は25.0(MPa)であった(コンクリート設計基準強度：15(MPa))。

表-2 単体引張実験結果一覧

試験体 番号	破壊モード	母材 コンクリート 圧縮強度	アンカー筋 規格	アンカー筋 先端形状	埋込み 深さ ( $l_e$ ) (1)	最大引張 荷重 ( $P_{max}$ )	変位 (終局(アンカー 筋破断)時) ( $P_u$ ) ( $P_{max} \times 0.8$ )
		(N/mm <sup>2</sup> )			(mm)		(mm)
①	アンカー筋 破断	16.5	D19 (SD295A)	寸切り	190( $10d_a$ )	150.5	22.4
②						152.9	21.4
③						153.1	21.5
④	コンクリート 破壊	16.5	D19 (SD345)	寸切り	133( $7d_a$ )	128.7	6.1
⑤						117.5	4.3
⑥						123.2	5.0
⑦	付着破壊	35.5	D19 (SD295A)	寸切り	133( $7d_a$ )	152.4	19.0
⑧						144.3	15.0
⑨					190( $10d_a$ )	138.4	16.3

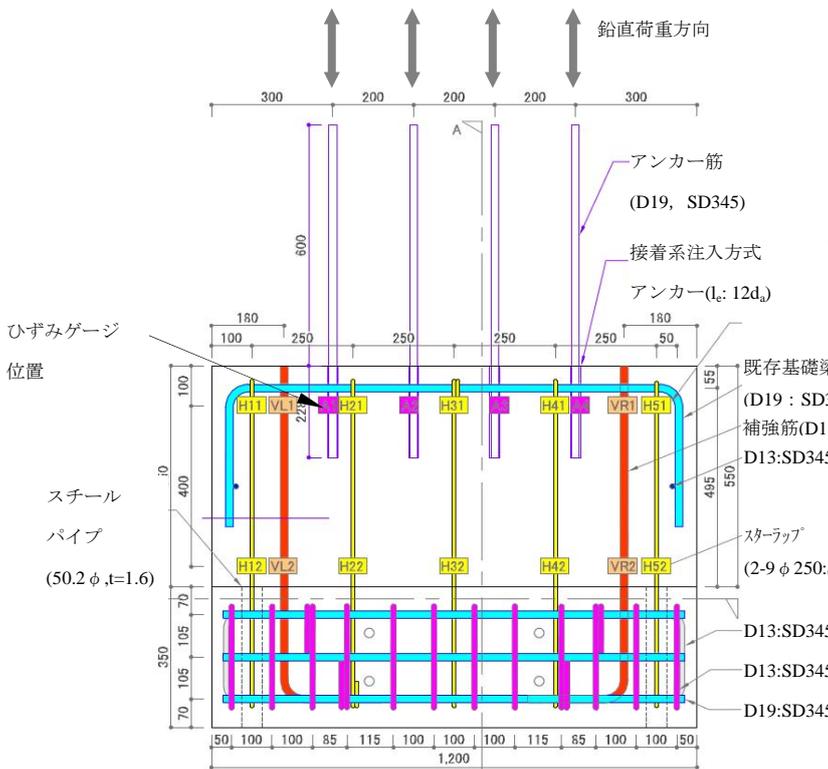


図-2. 立面図(南側) (mm) A

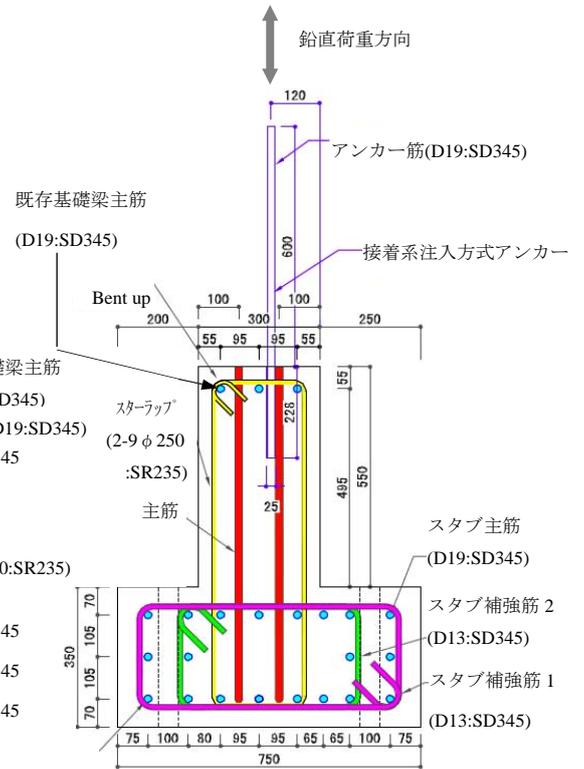


図-3. 断面図(東側) (mm)

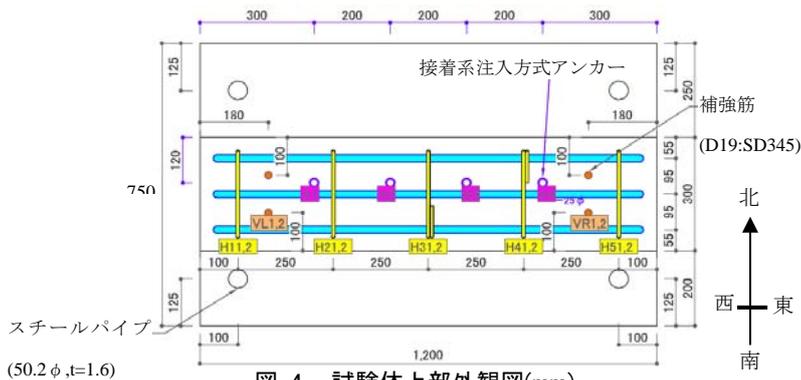


図-4. 試験体上部外観図(mm)



図-6. 試験体写真

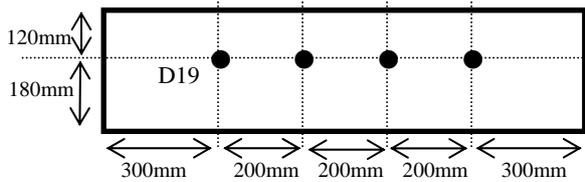


図-5. 群アンカー配置平面図

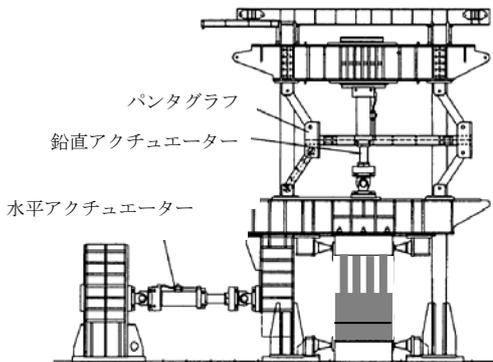


図-7. 試験体加力装置



図-8. 試験体加力装置設置状況写真

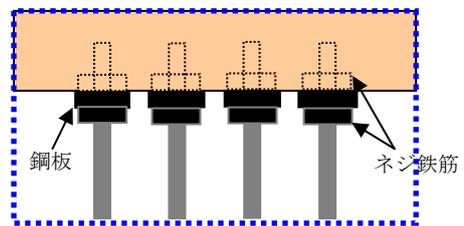


図-9. 図-8(e)部立面図(南側)

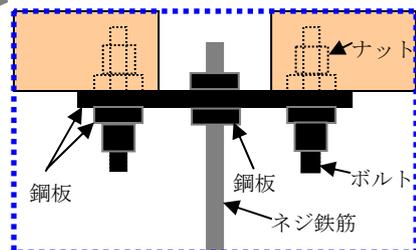


図-10. 図-8(e)部立面図(東側)

### 3.2 実験結果

表-3 に実験の最大引張荷重及び破壊モードを示す。終局強度時の破壊状況を図-11～図-14 に示す。鉛直荷重 ±78.4kN(アンカー筋降伏強度の±20%荷重時)、±156.8kN(±40%)、±235.2kN(±60%)の载荷サイクル中、試験体に目立ったひび割れは生じなかった。引張荷重 259.6kN において、アンカーピッチに沿ったコンクリート表面及びアンカー筋周囲のコンクリート表面にひび割れが生じた。最大鉛直荷重 448.8kN において、突然群アンカーによるコンクリートコーン状破壊が脆性的に起こり、その後は急激に耐力が低下した。図-2 のように、コンクリート中に埋込まれた D19 のアンカー筋に歪ゲージを設置したが、終局強度時(最終破壊時)において全てのアンカー筋は未だ降伏していなかった。

表-3. 群体引張実験結果一覧

試験体番号	⑩
破壊モード	コンクリート破壊
母材コンクリート設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	15.0
母材コンクリート実圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	25.0
群アンカー筋規格	D19(SD345)
埋込み深さ (l)	228 (12d <sub>a</sub> )
埋込み深さ (l <sub>e</sub> )	228 (12d <sub>a</sub> )
最大引張荷重 (kN)	448.8

### 4. 予測引張破壊荷重算定式の提案

#### 4.1 耐震改修設計指針の設計引張強度と実験値の比較

単体の引張破壊実験(実験 2)と群アンカーの引張破壊実験(実験 3)との同条件下において、それぞれ耐震改修設計指針の算定式(右式(1)～右式(4))を用いて設計引張強度を算出した。算出結果と実験値を表-4 に示す。算出においては、文献 18)のアンカー筋の破断強度(材料破断実験値)を用いて概ね評価できるという検証から、アンカー筋の降伏強度( $\sigma_y$ )に表-1 のアンカー筋の実際の材料破断強度( $\sigma_{ut}$ )を用い、RC 構造物の耐震診断・補強設計を行う際にコンクリート実強度(コンクリートコア材料圧縮実強度)を調査し、部材の算定に用いるコンクリート強度を設定することから<sup>19)</sup>、コンクリート設計基準強度( $\sigma_B$ )にコンクリート材料実強度( $\sigma_B$ )を用い、並びに、付着強度( $\tau_a$ )においては、文献 16)17)に準じたコンクリートコーン状破壊を発生させず最終破壊が付着破壊となるように母材コンクリートを拘束して引張試験を行って測定した付着強度実験値( $\tau_{ut}$ )を用いた。

また、設計引張強度の破壊モードと実験 2、実験 3 の

破壊モードを表-4 に示す。単体アンカー(A)(C)の条件下において、設計引張強度算出値の破壊モードと実験による破壊モードの結果に差異が見られる。これは、今回の条件下においては、耐震改修設計指針のコンクリートのコーン状破壊で決まる耐力算定式を用いた算出値( $T_{a2}$ )が実験値と比べ過小評価となっているものと考えられる。



図-11. 最終破壊時(終局時)試験体破壊状況写真(北側)



図-12. 最終破壊時(終局時)試験体破壊状況写真(南側上部 4 本)



図-13. 最終破壊時(終局時)試験体破壊状況写真(南側上部側面)



図-14. 最終破壊時(終局時)試験体破壊状況写真(南側上部へりあき部)

#### ■耐震改修設計指針の設計引張強度<sup>15)</sup>

$$T_a = \min [T_{a1}, T_{a2}, T_{a3}] \quad (1)$$

$$T_{a1} = \sigma_y \cdot a_0 \quad (2)$$

$$T_{a2} = 0.23 \cdot \sqrt{(\sigma_B)} \cdot A_c \quad (A_c = \pi \cdot l_e(l_e + d_a)) \quad (3)$$

$$T_{a3} = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \quad (\tau_a = 10 \cdot \sqrt{(\sigma_B / 21)}) \quad (4)$$

( $T_{a1}$ :アンカー筋の鋼材で決まる耐力,  $T_{a2}$ :コンクリートのコーン状破壊で決まる耐力,  $T_{a3}$ :付着力で決まる耐力,  $\sigma_y$ :鉄筋の規格降伏点強度(N/mm<sup>2</sup>),  $a_0$ :アンカー筋の公称断面積(mm<sup>2</sup>),  $\sigma_B$ :コンクリート圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>),  $A_c$ :コンクリートコーン状破壊面のアンカー1本あたりの有効水平投影面積(mm<sup>2</sup>),  $l_e$ :アンカー筋の有効埋込み深さ(mm),  $d_a$ :アンカー筋の呼び径(mm),  $\tau_a$ :付着強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_B$ 適用範囲:15~36(N/mm<sup>2</sup>))

4.2 予測引張破壊荷重算定式(調整係数:  $\alpha_1$ )

$$T_{apu} = \min [T_{a1pu}, T_{a2pu}, T_{a3pu}] \quad (5)$$

$$T_{a1pu} = \sigma_{ut} \cdot a_0 \quad (6)$$

$$T_{a2pu} = \alpha_1 \cdot 0.23 \cdot \sqrt{(\sigma_{Bt})} \cdot A_c \quad (7)$$

$$(A_c = \pi \cdot l_e \cdot (l_e + d_a)) \quad (\alpha_1 = 1.5) \quad (8)$$

$$T_{a3pu} = \tau_{ut} \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \quad (9)$$

( $\sigma_{ut}$ : アンカー筋材料破断強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_{Bt}$ : コンクリート材料実強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\tau_{ut}$ : 実験付着強度(N/mm<sup>2</sup>)<sup>16)17)</sup>,  $\alpha_1$ : 調整係数)

予測引張破壊荷重算定式として、式(5)~式(9)を提案する。これは、建築防災協会の耐震改修設計式の算定式を基本とし、アンカー筋の降伏強度( $\sigma_y$ )にアンカー筋材料破断強度( $\sigma_{ut}$ )を、コンクリート設計基準強度( $\sigma_B$ )にコンクリート材料実強度( $\sigma_{Bt}$ )を、並びに付着強度( $\tau_a$ )に文献(16)17)の付着強度実験に準じて行った付着強度実験値( $\tau_{ut}$ )を用いて、かつ、コンクリートのコーン状破壊で決まる引張破壊荷重算定式として  $\alpha_1$ (調整係数)を乗じたの

表-4. 耐震改修設計指針算定式・予測引張破壊荷重算定式・実験値との比較

	単体アンカー (A)	単体アンカー (B)	単体アンカー (C)	群体アンカー
	表-2.①②③	表-2.④⑤⑥	表-2.⑦⑧	表-3.⑩
$l_e$ (mm)	190 (10 $d_a$ )	133 (7 $d_a$ )	133 (7 $d_a$ )	228 (12 $d_a$ )
コンクリート母材 材料実強度 $\sigma_{Bt}$ (N/mm <sup>2</sup> )	16.5	16.5	35.5	25.0
アンカー筋引張破断 実強度 $\sigma_{ut}$ (N/mm <sup>2</sup> )	534 (SD295A)	603 (SD345)	534 (SD295A)	603 (SD345)
実験付着強度 $\tau_{ut}$ <sup>16)17)</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	16	16	16	19
$T_{a1}$ (鋼材破断強度使用) (kN)	153	173	153	691
$T_{a2}$ (コンクリート破壊) (コンクリート実強度使用) (kN)	116	59	87	276
$T_{a3}$ (付着破壊) ( $\tau_{ut}$ 使用) (kN)	181	127	127	1,034
$T_a$ (耐震改修設計指針算定値) (kN)	<b>116</b>	<b>59</b>	<b>87</b>	<b>276</b>
破壊モード (耐震改修設計指針算定式)	コンクリート破壊	コンクリート破壊	コンクリート破壊	コンクリート破壊
$P_{max}$ (kN) 最大引張荷重実験値	<b>152.1</b>	<b>123.1</b>	<b>148.3</b>	<b>448.8</b>
$P_u$ (kN) 終局引張荷重実験値 ( $P_{max} \times 0.8$ )	<b>121.7</b>	<b>98.5</b>	<b>118.6</b>	<b>359</b>
破壊モード (実験結果)	鋼材破壊	コンクリート破壊	付着破壊	コンクリート破壊
$T_{a2pu}$ (コンクリート破壊) (予測引張破壊荷重算定値) $T_{a2pu} = T_{a2} \times \alpha_1$ (kN) $\alpha_1 = 1.5$	175	89	130	414
$T_{apu} =$ $\min [T_{a1pu}, T_{a2pu}, T_{a3pu}]$ (予測引張破壊荷重算定値)	<b>153</b>	<b>89</b>	<b>127</b>	<b>414</b>
破壊モード (予測引張破壊荷重算定式)	鋼材破壊	コンクリート破壊	付着破壊	コンクリート破壊

みである。この調整係数は文献 1)20)21)より材料特性のばらつき等の不確実性を考慮した部分安全係数等を参考に定め、本稿第2章単体引張実験(実験2)コンクリートコーン状破壊の最大引張荷重のばらつきを考慮し、 $\alpha_1=1.5$ と仮定している。以上より、実験値と式(5)~式(9)の予測引張破壊荷重算定式にて算出することで、表-4より、条件(A)(B)(C)の単体アンカー及び群アンカーの条件下において、条件(B)は多少の差異があるものの、予測引張破壊荷重算出値と最大引張荷重(終局引張荷重)実験値が概ね近い値となり破壊モードも一致することから、概ね評価できるものと思われる。

## 5. まとめ

本報では、袖壁増設補強等居住しながら耐震補強を行う際の既存部と補強部の接合として引張強度が重要となる部位を想定し、単体・群体の接着系注入方式あと施工アンカーの引張破壊性能検証実験を行った。大地震動時における、アンカーの破壊時の引張荷重や最大引張荷重を概ね予測することも重要と考え、建築防災協会の耐震改修設計指針の算定式を基本に、予測引張破壊荷重算定式を提案し、実験値との比較検討を行った結果、限られた条件による実験検証のみではあるが、提案式で概ね評価できる可能性を示した。今後は、多数の実験やデータ収集を行い、提案式の妥当性を検討したい。

## 6. 謝辞

本実験的研究を行うにあたり、新潟大学中村孝也准教授に多大なるご助言をいただいた。また、本稿第3章群体引張破壊実験は首都大学東京の実験施設を使用して実施した。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 大和征良, 山本泰稔, 近藤龍哉: 接着系あと施工アンカーの引張強度と靱性に関する実験的研究と各種設計式の設計引張耐力比較検討, コンクリート工学年次論文集, pp.1057-1062, Vol.33, No.2, 2011年7月
- 2) 近藤龍哉, 伴幸雄, 加藤三晴, 山本泰稔: 既存建物袖壁付き柱の曲げ補強に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, pp.1345-1350, Vol.33, No.2, 2011年8月
- 3) 中村孝也, 阿部泰浩, 芳村学, 大和征良, 広沢雅也: 中低層RC造集合住宅の袖壁増厚による耐震補強に関する実験(その1 実験計画)(その2 実験結果の考察), 日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集, pp.819-822, 2012年9月
- 4) 加藤三晴: 外付け補強, 耐震補強工法の基本の実務, 建築技術, pp.125-129, No.727, 2010年8月,
- 5) 既存建築物の耐震診断・耐震補強設計マニュアル, (一社)建築研究振興協会他編著, pp.21-31, pp.79-87,

2012年版<下巻>

- 6) 塩畑英俊, 野島昭二, 林和彦: あと施工アンカーの耐力に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, pp.625-630, Vol.32, No.2, 2010年
- 7) 酒井悟, 塚本英司, 秋山友昭, 廣澤雅也他: 第3種軽量コンクリートの構造特性に関する検討(その2 あと施工アンカーの性能), 日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集, pp.609-610, 2010年9月
- 8) 酒井悟, 中野克彦, 杉山智昭, 松崎育弘: 接着系あと施工アンカーの構造特性に関する実験的研究—定着長さ・へりあき寸法を考慮した評価方法の検討—日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.45-48, 第49号, 2006年7月
- 9) 清原俊彦, 松崎育弘, 中野克彦, 福本晃治: 接着系あと施工アンカーの構造特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, pp.199-204, Vol.20, No.3, 1998年
- 10) 後藤浩司, 中野克彦, 松崎育弘他: 接着系あと施工アンカーの構造性能に関する実験的研究~フィルムチューブ型樹脂アンカーについて~, 日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集, pp.717-718, 1998年9月
- 11) あと施工アンカー (ヒルティHIT-RE500) の性能試験, 試験報告書, (財)建材試験センター, pp.1-74, 2000.8
- 12) 辻和幸, 小隈幸一: あと施工アンカー工事, 特集 RC造の耐震診断・耐震補強の基本知識(監修:広沢雅也), 建築技術, pp.158, 2009.3
- 13) 高橋宗臣: あと施工アンカー工事, 特集 知っておきたい耐震補強実務のポイント(監修 広沢雅也+秋山友昭), 建築技術, pp.162-163, 2010.8
- 14) 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, (社)日本建築学会, pp.119-120, 2008.6
- 15) 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説, (財)日本建築防災協会, pp.117-138, pp.266-290, 2001年改定版
- 16) 有木克良, 渡辺一弘, 秋山友昭, 久保田雅春, 高瀬裕也他: 湿式コアドリル工法によるあと施工アンカーの性能確認実験(その1)回転式カプセル型アンカー(低騒音型)を用いた付着性能実験, 日本建築学会学術講演梗概集(北陸), pp.147-148, 2010年9月
- 17) 瀬戸口英恵, 阿部隆英, 高瀬裕也, 佐藤眞一郎, 高橋宗臣, 佐藤貴志: 湿式コアドリル工法によるあと施工アンカーの性能確認実験 (その2) 注入式アンカーを用いた付着性能実験, 日本建築学会学術講演梗概集(北陸), pp.149-150, 2010年9月
- 18) 伴幸雄, 山本泰稔, 近藤龍哉, 大和征良: 既存建物袖壁付き柱の補強に関する群アンカーの実験的研究, コンクリート工学年次論文集, pp.1423-1428, Vol.33, No.2, 2011
- 19) 廣澤雅也, 秋山友昭他: 特集 知っておきたい耐震補強実務のポイント, 建築技術, pp.92-99, No.727, 2010年8月
- 20) 玉越隆史: 道路橋示方書の性能規定化と今後の展望, 土木学会誌, pp.28-29, Vo.98, No.3, 2013年3月
- 21) Anchor Fastening Technology Manual: Hilti Corporation, pp.34-35, (Sep)2012