

第 4 章

既存壁式構造物において下階壁面内に施工される接着系あと施

エアンカーの引張特性

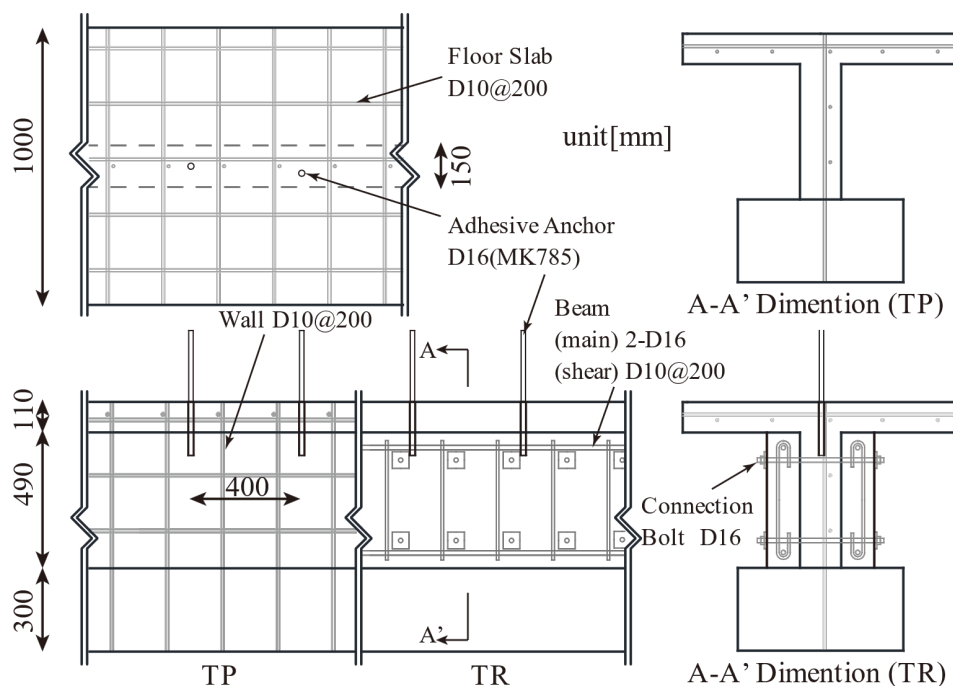
4.1 目的

既存壁式構造物の張間方向耐力壁に、新設開口を設ける場合に、開口脇の耐力壁に曲げ補強筋（開口補強筋）を配する必要がある。本研究で対象とする壁式構造建築物においては、曲げ補強筋として設けるあと施工アンカーは、図 4.2-1 のように厚さ 110mm の床スラブおよび壁厚 150mm の下階壁の打ち込まれることが想定される。壁面内方向に打ち込まれるあと施工アンカーは、へりあきが不十分となり、定着性能が低下することが懸念される。本検討では、床スラブおよび下階壁を想定した試験体を製作し、あと施工アンカーの定着性能を確認することを目的とする。

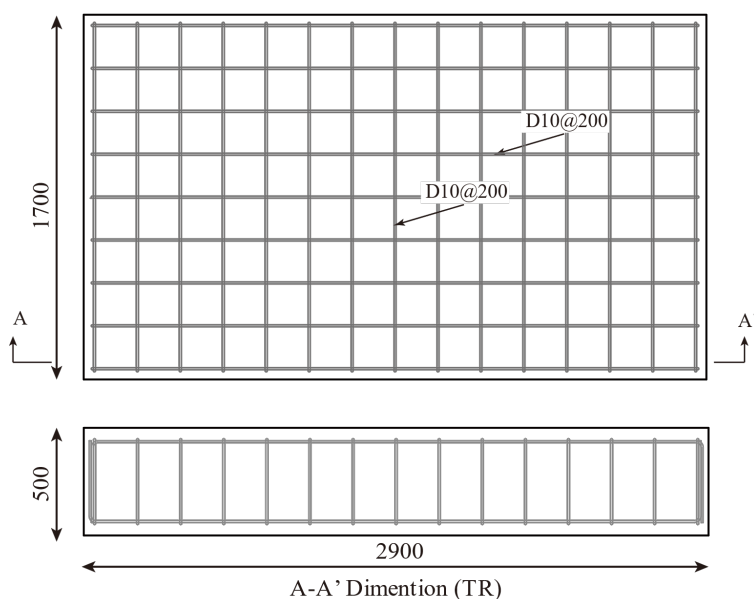
4.2 あと施工アンカーの引張実験概要

4.2.1 定着用試験体概要

あと施工アンカー定着用の試験体は、図 4.2-1 に示すように、壁厚 150mm・シングル配筋の下階壁、および、床厚 110mm の床スラブを模した T 型試験体を 2 体（TP, TR）、比較対象としてマットスタブ試験体 1 体（M）の計 3 体を製作した。T 型試験体のうち 1 体は、本資料第 5 章で提案している、新設開口を連層で設けた場合に上下の新設開口間の壁梁相当部分の外付け補強を設けている。



(a) T 型試験体



(b) マットスタブ試験体

図 4.2-1 アンカー定着用試験体配筋図

4.2.2 あと施工アンカー試験体概要

あと施工アンカー試験体のパラメーター一覧を表 4.2-1 に示す。また、T 型試験体のあと施工アンカー設置位置を図 4.2-2 に、マットスタブ試験体のあと施工アンカー設置位置を図 4.2-3 に示す。あと施工アンカーの間隔は 400mm 以上とした。

また、図 4.2-4 に示すように、内径 200mm、高さ 80mm(5d_a 相当)、板厚 8mm の鋼管に打設したコンクリート（スライス供試体）の中央位置に、あと施工アンカーを垂直に施工した拘束付着試験用試験体を 5 体製作した。併せて、図 4.2-5 に示すように、接着剤の性能確認用に、M20 の高ナット内に接着剤を充填し、M12 全ねじボルトを挿入した接着力試験体 5 体も製作した。

表 4.2-1 試験体一覧

| フェイズ | 埋め込み長さ | 施工位置 | TP | TR | M |
|------|--------------------|------|----|----|---|
| 1 | 20d _a | 中央 | 3 | 3 | 3 |
| | 12d _a | 偏心 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | 20d _a * | 中央 | 1 | 1 | - |
| | 12d _a * | 中央 | 1 | 1 | 1 |
| | 5d _a | - | - | - | 5 |

d_a: アンカー径, *: ひずみゲージ付き

試験体名【ベース試験体】-【埋め込み長さ比】【施工位置】-A,B,C

ベース試験体: TP・T型, TR・T型+梁補強, M・マットスタブ

埋め込み長さ: 20・20d_a, 12・12d_a, 5・5d_a

施工位置: C・中央(へりあき75mm-75mm)

E・偏心(へりあき50mm-100mm)

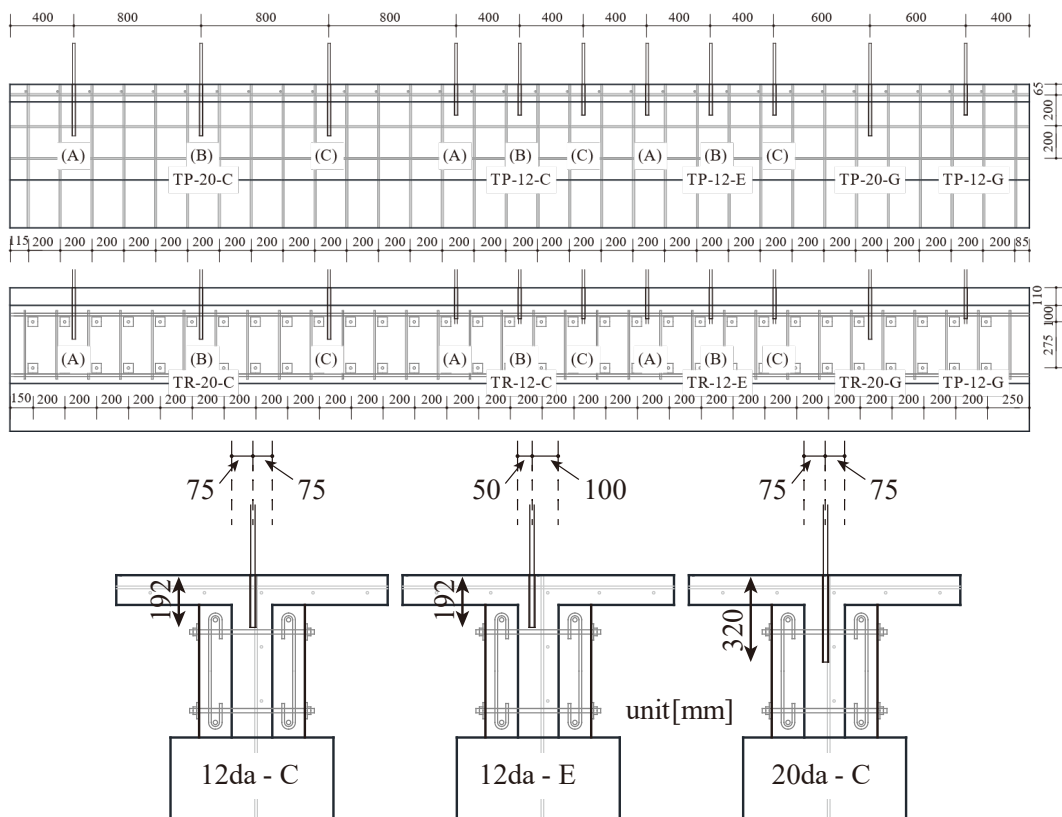


図 4.2-2 T 型試験体 あと施工アンカー設置位置図

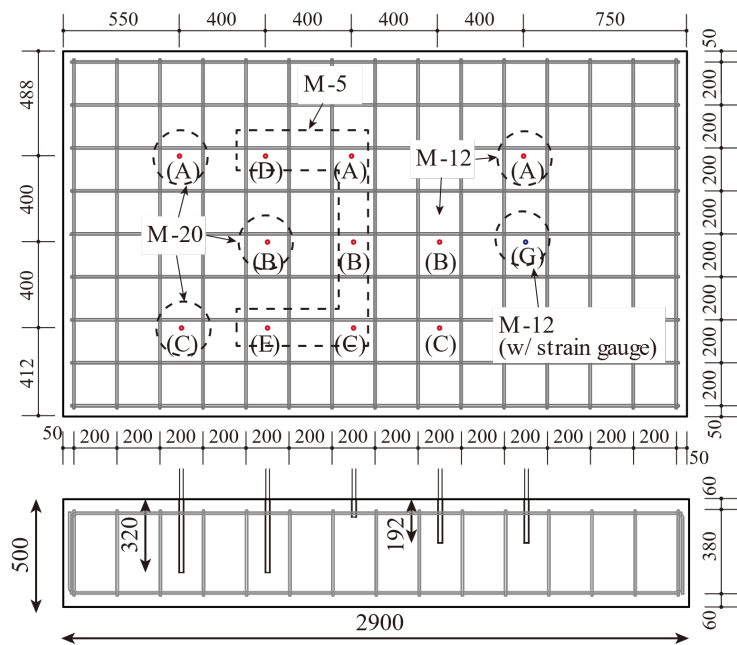


図 4.2-3 マットスタブ試験体 あと施工アンカー設置位置図

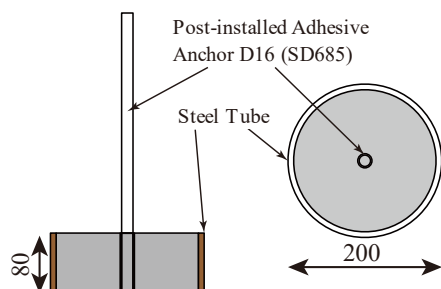


図 4.2-4 拘束付着引張試験用 アンカー供試体

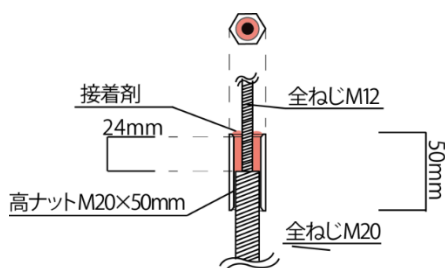


図 4.2-5 接着力試験体

使用したあと施工アンカーの諸元一覧を表 4.2-2 に示す。また、アンカー施工および引張試験の工程を表 4.2-3 に示す。

表 4.2-2 アンカー諸元

| | | | |
|------|----------------|--------|-----------|
| 接着剤 | | アンカー筋 | |
| タイプ | EX-350 (エポキシ系) | サイズ・規格 | D16・MK785 |
| 穿孔 | | | |
| 穿孔方法 | コアドリル | 穿孔径 | 20mm |

表 4.2-3 実験工程 (2020 年)

| | Con 打設 | 鉄筋 探查 墨出し | 穿孔 | アンカー 施工 | 引張実験 (アンカー施工後 経過日数) |
|---------|---------------------------|-----------------|------|-----------------------------|------------------------------|
| フェイズ 1 | 既存部 1/18 補強部 2/1 | 2/11 | 2/13 | 2/14 (気温 9.3℃ 湿度 85%) | 2/17, 19, 26 (3, 5, 12 日) |
| スライス供試体 | | | | | 2/25 (11 日) |
| 接着力試験体 | | 3/19 (33 日) | | | |
| フェイズ 2 | | 3/4 | 3/6 | 3/9 (気温 10.2℃ 湿度 76%) | 3/19, 23 (34, 38 日) |

4.2.3 使用材料の特性

(1) コンクリートおよび鉄筋

コンクリートの材料試験結果を表 4.2-4 に示す。また、使用鉄筋の材料試験結果を表 4.2-5 に示す。

表 4.2-4 使用コンクリート材料試験結果

| スランプ [cm] | 空気量 [%] | Co温度 [°C] | 実施日 2020年 | 材齢 [日] | 使用部位 | ヤング係数 [N/mm ²] | 圧縮強度 [N/mm ²] | 割裂強度 [N/mm ²] |
|--------------|------------|--------------|--------------|-----------|------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 15.5 | 5.2 | 10.0 | 2/18 | 31 | 既存部 | 2.56×10^4 | 24.0 | 2.2 |
| | | | 3/23 | 65 | | 2.56×10^4 | 26.5 | 2.2 |
| 16.5 | 5.5 | 13.0 | 2/18 | 17 | 補強部 | 2.81×10^4 | 29.0 | 3.0 |
| | | | 3/23 | 51 | | 2.70×10^4 | 34.6 | 3.2 |

表 4.2-5 使用鉄筋材料試験結果

| 呼び径 | 材質 | ヤング係数 | 降伏強度 | 降伏歪 | 引張強度 |
|-----|--------|----------------------|----------------------|------|----------------------|
| | | [N/mm ²] | [N/mm ²] | [μ] | [N/mm ²] |
| D16 | MK785 | 1.99×10^5 | 841.5 | 4222 | 1034.9 |
| D10 | SD295A | 1.73×10^5 | 356.9 | 2065 | 480.9 |
| D16 | SD345 | 1.80×10^5 | 376.8 | 2091 | 577.9 |

(2) あと施工アンカーと母材の付着

コンクリートとアンカーの付着性能を確認するための、アンカー付着試験を実施した。実験のセットアップ図を図 4.2-6 に示す。内径 200mm、高さ 80mm(5da 相当)、板厚 8mm の鋼管に打設したコンクリート（スライス供試体）の中央位置に、アンカー筋を垂直に施工した。施工したアンカーについて、孔周辺を耐圧板で拘束しながら引張試験を実施する拘束引張試験を実施した。アンカー付着試験の結果（最大荷重、最大荷重時抜け出し変位、付着基準強度(4.2.1)式）および荷重—自由端抜け出し変位関係を図 4.2-7 示す。

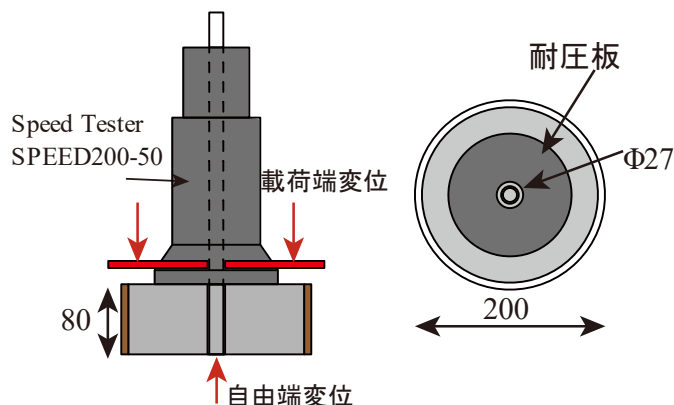


図 4.2-6 実験セットアップ図（単位：mm）

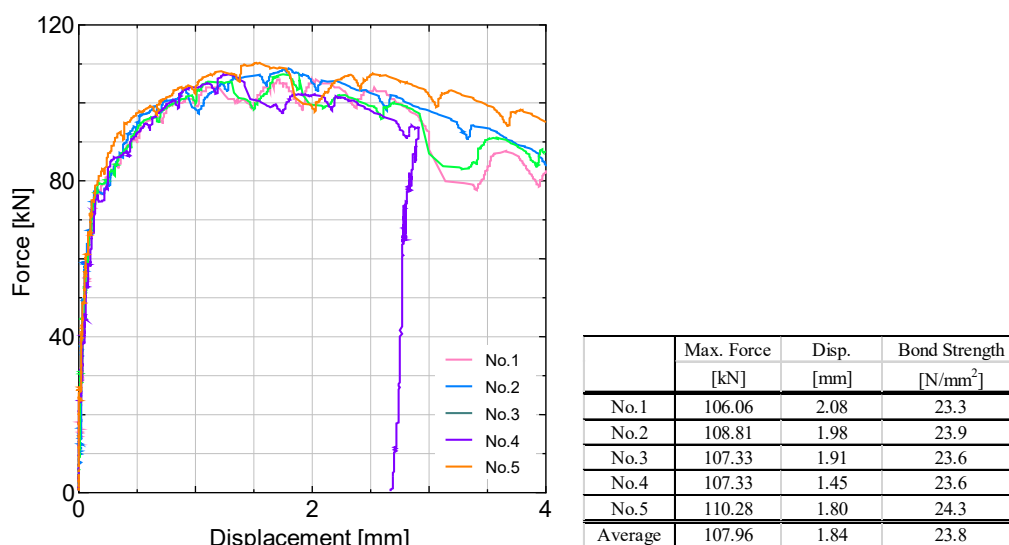


図 4.2-7 アンカー付着試験結果（スライス供試体）

また、マットスタブ試験体に、埋め込み長さ $5d_a$ としたあと施工アンカーを施工し、拘束引張試験を実施した。マットスタブ試験体のアンカー付着試験の結果および荷重—抜け出し変位関係を図 4.2-8 に示す。なお、図中の変位は、自由端側の変位が計測できないため、載荷端としている。

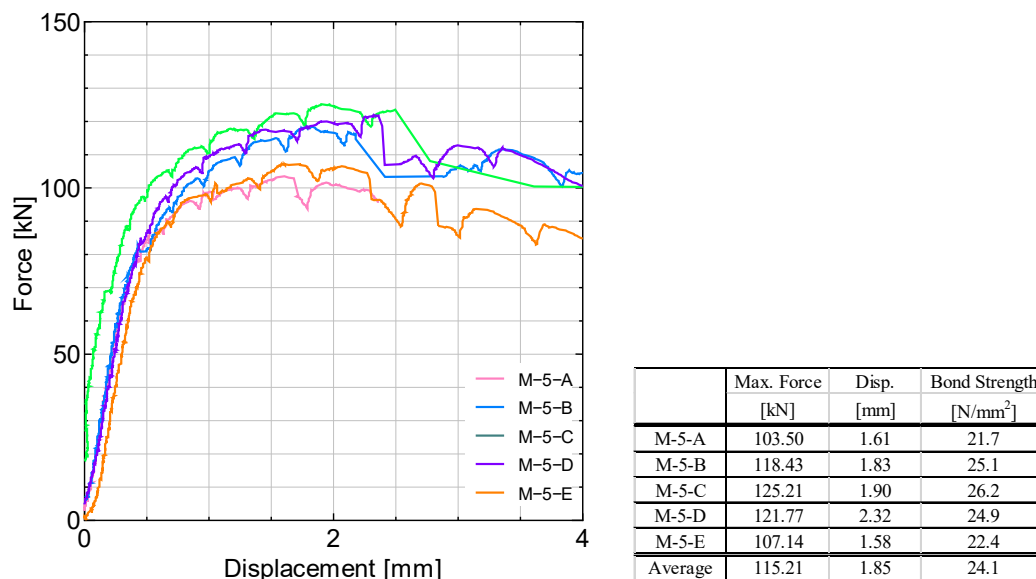


図 4.2-8 アンカー付着試験結果（マットスタブ試験体）

あと施工アンカー強度指定申請ガイドライン[4-1]を参考に、付着基準強度の 95%信頼下限値を次式によって算定した。ただし、試験体数は 5 体となるため、 $t=2.132$ としている。 τ_{ave} はほぼ同程度だが、マットスタブの方がばらつきが大きいため、 $\tau_{0.95}$ はスライス供試体の方が大きい結果となった。

$$\tau_n = \frac{P_{max}}{\pi \cdot d_a \cdot \ell_e} \cdot \sqrt{\frac{21}{\sigma_B}} \quad (4.2.1)$$

$$\tau_{ave} = \sum \tau_n / N \quad \tau_{0.95} = \tau_{ave} - s \cdot t \quad s = \sqrt{\sum (\tau_{ave} - \tau_n)^2 / (N - 1)}$$

表 4.2-6 拘束付着試験結果

| | τ_{ave} | s | $\tau_{0.95}$ |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | [N/mm ²] | [N/mm ²] | [N/mm ²] |
| スライス供試体 | 23.76 | 0.360 | 23.00 |
| マットスタブ試験体 | 24.07 | 1.920 | 19.97 |

(3) 接着剤の接着力

アンカーに使用した接着剤（EX-350，エポキシ樹脂系）の物性確認のための接着力試験を実施した。試験体は，M20の高ナット内に接着剤を充填し，全ねじボルトM12を挿入して製作した（写真4.2-1参照）。全ねじボルトM12の接着長さは，約25mmである。試験は，サーボ試験機を用いた引張試験とし，接着部での抜け出し変形を計測した。

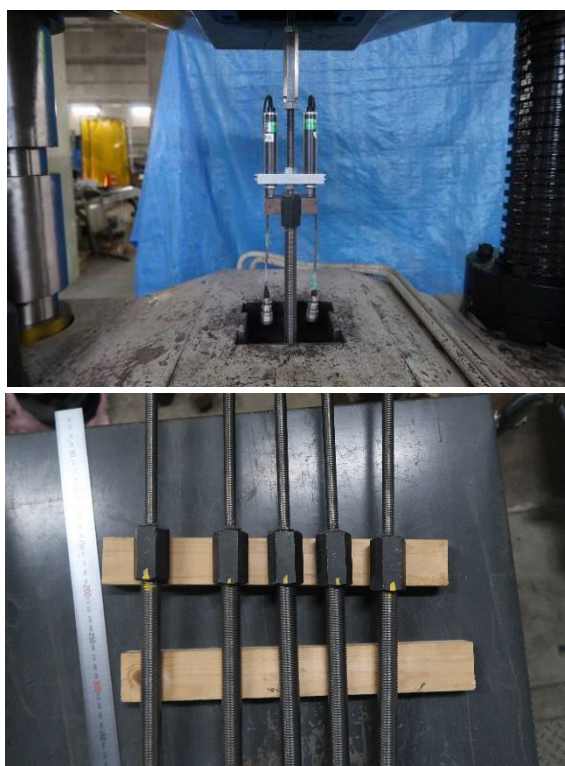


写真 4.2-1 接着力試験

接着力試験の結果（荷重—抜け出し変形関係，試験結果一覧）を図 4.2-9 示す。接着剤の付着強度 τ_b は次式で算定した。接着剤の付着強度 τ_b の平均値は 36.15N/mm^2 となった。これは、前節にしめしたスライス供試体を用いたあと施工アンカー拘束付着試験による付着基準強度の 1.5 倍以上であることから、適切な品質を持つ接着剤であると言える。

$$\tau_{ad} = \frac{P_{max}}{\pi \cdot d_{a,s} \cdot \ell_{e,s}} \quad (4.2.2)$$

ここに、 $d_{a,s}$: 全ねじボルト径, $\ell_{e,s}$: ボルト埋め込み長さ

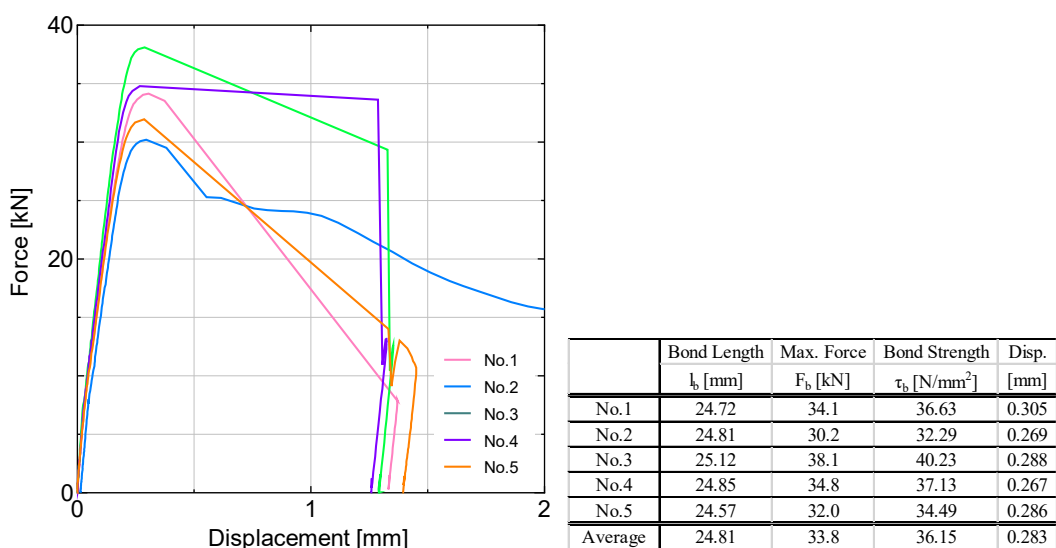


図 4.2-9 接着力試験結果一覧

4.2.4 加力方法

T型試験体およびマッドスタブ試験体に打ち込んだあと施工アンカーの引張試験は、孔周辺の拘束は行わず、孔位置から埋め込み長さと同等以上に離れた位置（コーン破壊の投影面を超える位置）に支点を設けて、非拘束引張試験を実施した。セットアップ図を図4.2-10に示す。

あと施工アンカーから両側それぞれ325mm離れた位置に支点を設けた。支点上に、アンカーを挟むように加力梁（H-125×125×9×16）2本を設置し、その上に引張試験装置（オックスジャッキ製、スピードテスター、SPEED200-50）を設置した。

計測項目は、荷重および抜け出し変位とした。荷重はスピードテスター内蔵のロードセルにより計測した。抜け出し変位は、アンカー打設面直上に治具を設置し、その位置での変位を2点計測し、平均値を抜け出し変位とした。

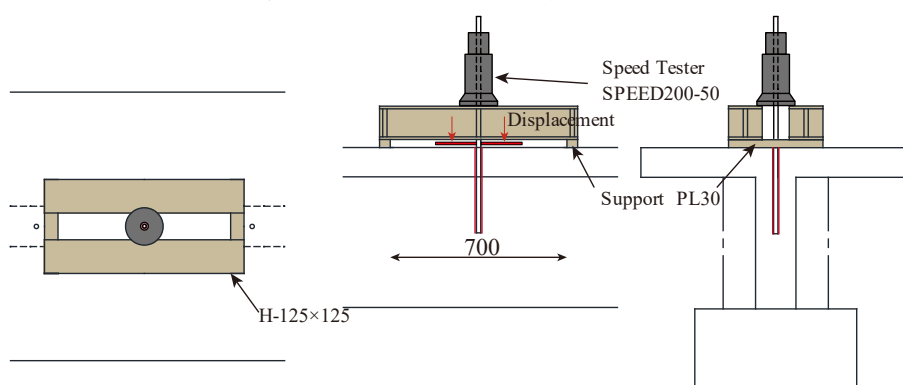


図4.2-10 非拘束引張試験セットアップ図

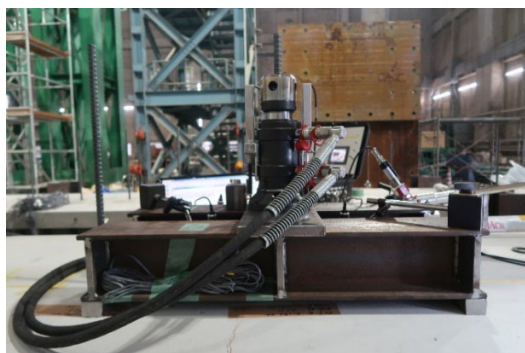


写真4.2-2 試験セッティング



写真4.2-3 変位計測用治具

4.2.5 あと施工アンカーの設計

想定する破壊モードは、アンカー筋の降伏 (T_{a1})、コーン破壊 (T_{a2})、付着破壊 (T_{a3}) の3種類とし、あと施工アンカー強度指定申請ガイドライン^[4-1]、各種合成構造設計指針^[4-2]および耐震改修設計指針^[4-3]を参考に耐力を算定した。

(1) 鉄筋降伏 T_{a1}

$$T_{a1} = a_t \cdot \sigma_y \quad (4.2.3)$$

ここに、 a_t : アンカー筋の断面積、 σ_y : 降伏強度

(2) コーン破壊 T_{a2}

次式で算定する。

$$T_{a2} = \sigma_t \cdot A_c = 0.23\sqrt{F_c} \cdot A_c \quad (4.2.4)$$

ただし、コーン破壊有効面積 A_c については、図 4.2-10 に示すように、埋め込み部端部から 45 度の拡がりを仮定し、コンクリートのない部分は投影面積として考慮しなかった。単体アンカーの場合は下記式のようになる。

$$A_c = \begin{cases} \pi \times l_e^2 & (l_e - t_s \leq \frac{t_w}{2}) \\ \pi \times l_e^2 - 4 \cdot \left(\frac{\theta}{2} \cdot (l_e - t_s)^2 - \frac{1}{2} \cdot \frac{t_w}{2} (l_e - t_s) \cdot \sin\theta \right) & (l_e - t_s > \frac{t_w}{2}) \end{cases} \quad (4.2.5)$$

ここに、 l_e : 有効埋め込み長さ、 t_w : 下階壁厚さ、 t_s : 床スラブ厚さ、 θ : 下図参照 (単位 rad) である。

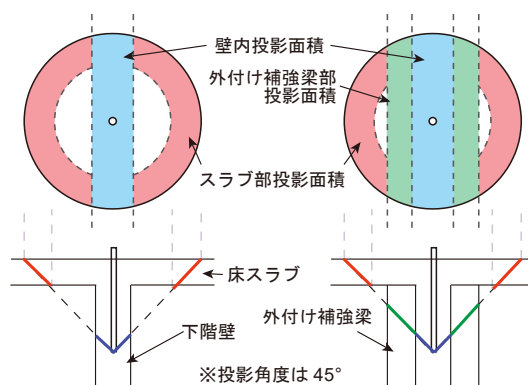


図 4.2-10 コーン破壊有効面積の考え方

(3) 付着破壊 T_{a3}

あと施工アンカーの付着破壊耐力について、耐震改修設計指針²⁾およびアンカー強度指定ガイドライン³⁾においては、次式で算定される。

$$T_{a3-1} = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \quad (4.2.6)$$

τ_a : 付着強度、 d_a : 鉄筋径、 l_e : 有効埋め込み長さ

なお、付着強度 τ_a については、次式で算定されるものとされており、付着基準強度は耐震改修設計指針²⁾においては 10MPa、アンカー強度指定ガイドライン³⁾においては最大で 15MPa を取ることができる。

$$\tau_a = 10\sqrt{F_c/21} \text{ or } 15\sqrt{F_c/21} \quad (4.2.7)$$

一方、各種合成構造設計指針¹⁾においては、へりあき等による付着強度の低減が考

慮された次式で算定される。なお、各種合成構造設計指針では、付着破壊 T_{a3} においてへりあき等による低減を考慮するため、コーン破壊 T_{a2} における検討は除外されていることに留意されたい。

$$T_{a3-2} = \phi_a \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce} \quad (4.2.8)$$

ここに、 ϕ_a ：低減係数（終局評価のため 1.0）、 l_{ce} ：強度算定用埋め込み長さ（有効埋め込み長さ - $2d_a$ ）

$$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{ave} \quad (4.2.9)$$

$$\alpha_n = 0.5 \left(\frac{c_n}{l_e} \right) + 0.5 \quad (4.2.10)$$

$$\tau_{ave} = 10\sqrt{Fc/21} \text{ or } 15\sqrt{Fc/21} \quad (4.2.11)$$

ここに、 c_n ：へりあき，はしあき，ピッチ長さ， l_e ：有効埋め込み長さ

アンカーの各種耐力の算定結果と埋め込み長さ比（埋め込み長さ/アンカー筋径）の関係を図 4.2-11 に示す。

改修指針やガイドラインに従った場合には、 T_{a1} 、 T_{a2} 、 T_{a3-1} を比較することとなる。改修指針に従って付着基準強度を 10MPa とした場合には、埋め込み長さが $20d_a$ 以下の範囲では付着破壊 T_{a3} と判定される。一方で、ガイドラインに従って付着基準強度を 15MPa とすると、埋め込み長さが $13d_a$ を超えると鉄筋降伏 T_{a1} と判定される。

各種合成構造設計指針に従った場合、 T_{a1} と T_{a3-2} を比較することとなる。この場合、へりあきが十分な TR 試験体の場合で付着基準強度を 15MPa とすると、埋め込み長さが $15d_a$ を超えると鉄筋降伏 T_{a1} と判定されるが、それ以外の場合にはいずれも付着破壊 T_{a3} と判定される。

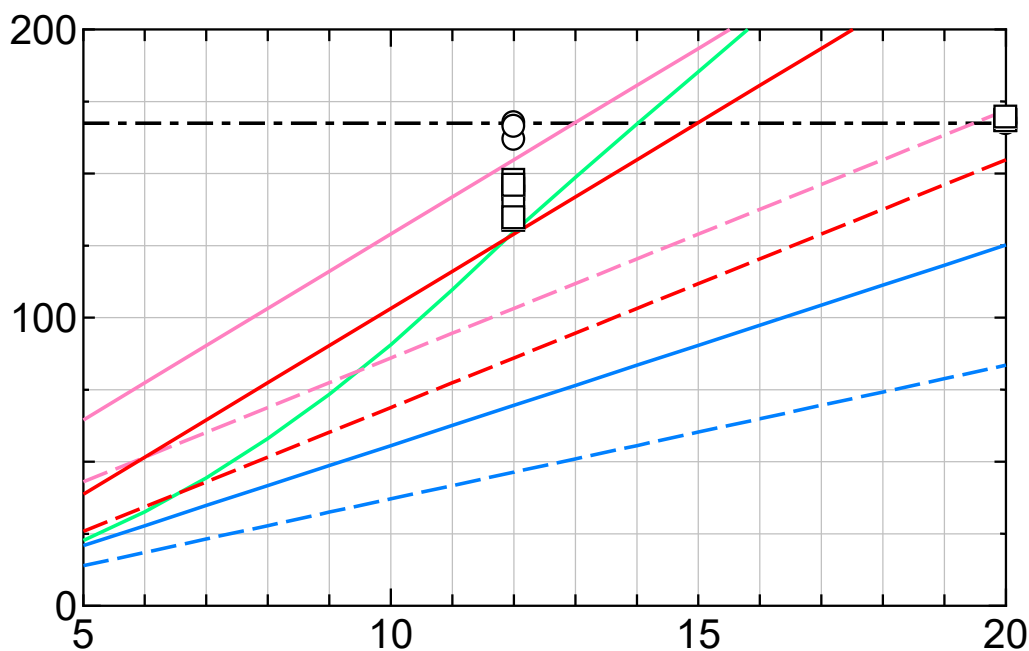


図 4.2-11 耐力計算結果

4.3. あと施工アンカーの引張実験結果

4.3.1 荷重変形関係および破壊性状

(1) マットスタブ試験体 (M シリーズ)

マットスタブ試験体に打ち込んだ埋め込み長さ $20d_a$ および $12d_a$ の試験体の荷重—抜け出し変位関係を図 4.3-1 に示す。

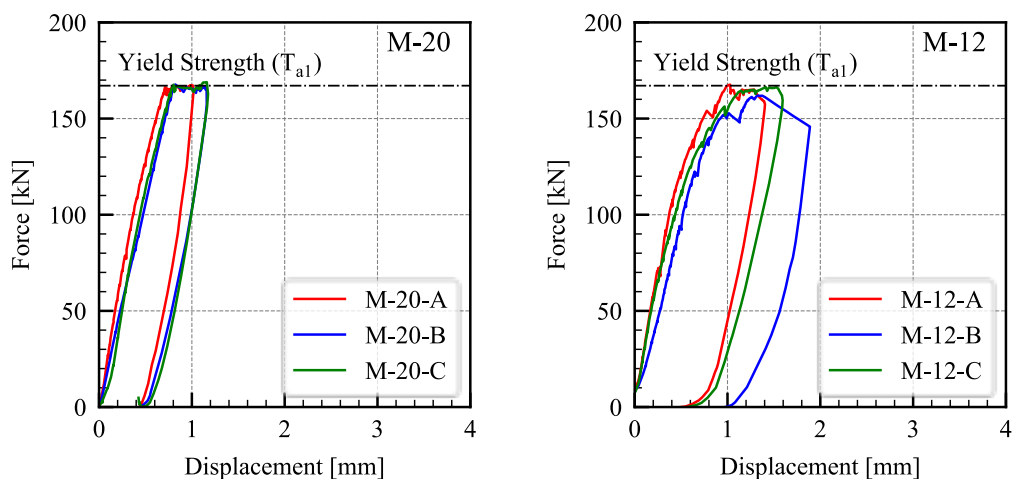


図 4.3-1 荷重—抜け出し変位関係 (マットスタブ試験体)

すべてのアンカーで、鉄筋の降伏が確認された。埋め込み長さ $20d_a$ のアンカーは概ね弾性挙動を示しているのに対し、埋め込み長さ $12d_a$ のアンカーはやや剛性が低下する様子が確認された。なお、試験体上面でのひび割れは確認されていない。

なお、M-12-B は、最初に引張試験を実施したアンカーだが、抜け出し変位計測の際の固定点を加力梁中央付近としてしまったため、治具のたわみ成分が抜け出し変形に含まれてしまった。たわみ計算値に応じて適切に処理した。



改善前

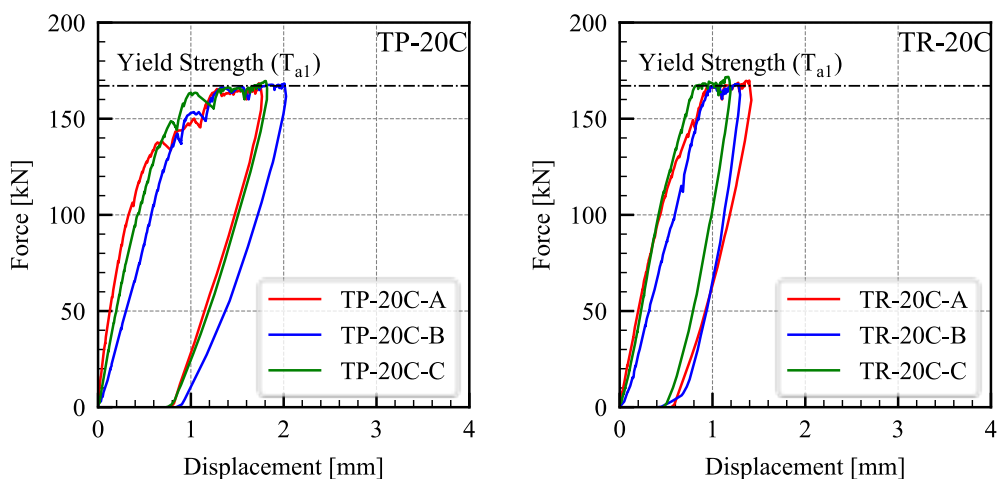
改善後

写真 4.3-1 計測方法の改善

(2) T型試験体(TP, TR シリーズ)

T型試験体・梁補強なし (TP) および梁補強あり (TR) の、埋め込み長さ $20d_a$ のアンカーの引張試験結果を図 4.3-2 に示す。また、ひび割れ状況を図 4.3-3 に示す。ひび割れ図は、上面から見たひび割れ図および側面から見たひび割れ図を示しており、赤線は見えている面 (上面および正面) のひび割れを、青線は透過した裏側の面 (下面および裏面) のひび割れを示している。

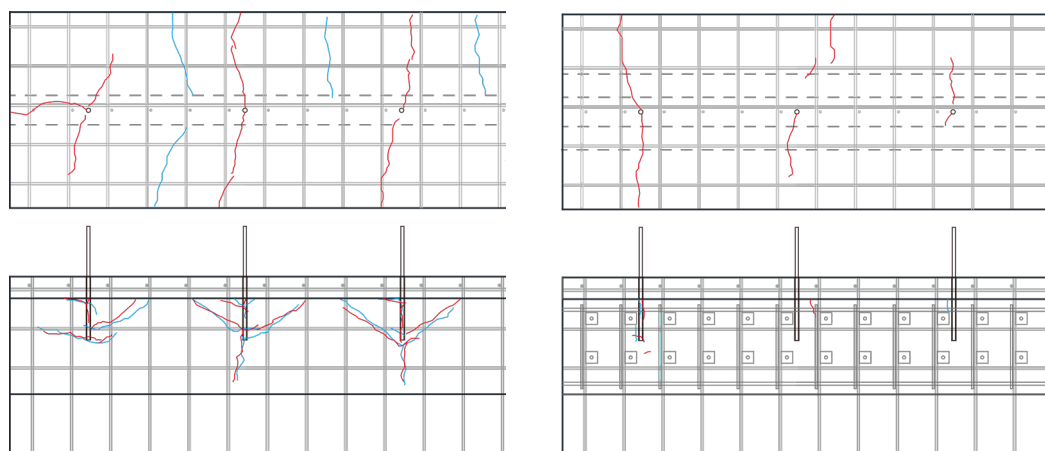
TP シリーズでは、140kN で試験体上面での埋め込み部からの放射状のひび割れを確認し、150kN で下層壁部に付着割裂ひび割れおよびコーン状ひび割れを確認したが、その後に鉄筋の降伏を確認した。TR シリーズでは、120kN で埋め込み部からの放射状のひび割れの発生を確認後、鉄筋降伏を確認した。床スラブと下層壁の境界面付近でのひび割れが確認されたが、補強梁面には特段ひび割れの発生は確認されなかった。補強梁の効果により下層壁でのひび割れが抑制されたために、ひび割れによる剛性低下が確認されなかったものと考えられる。



(a) TP シリーズ

(b) TR シリーズ

図 4.3-2 T型試験体, 埋め込み長さ $20d_a$



(a) TP シリーズ

(b) TR シリーズ

図 4.3-3 ひび割れ図・T型試験体, 埋め込み長さ $20d_a$

T型試験体・補強なし (TP) の埋め込み長さ $12d_a$ アンカーの試験結果を図 4.3-4 に示す。また、ひび割れ図を図 4.3-5 に示す。

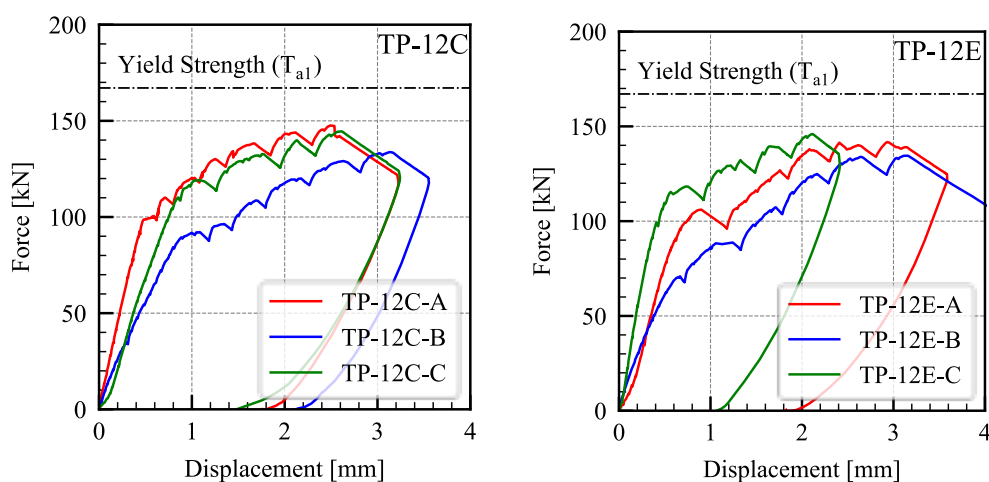
最小へりあき 75mm とした, TP-12C シリーズは, A→C→B の順番で試験を行った。TP-12C-A, C では, 100kN で鉄筋周辺の放射状のひび割れ発生後, 120kN で下層壁部でのコーン状のひび割れが確認され, その後, コーン状ひび割れ下から鉄筋に沿った縦ひび割れも確認され, 剛性が徐々に低下した。また, 支点下部の床スラブ下面の曲げひび割れの発生が確認された。この曲げひび割れは, 支点位置付近のアンカー筋の引張試験結果に影響しうると考え, 試験の順番を調整した。

TP-12C-B では, A, C の加力に伴って発生した床スラブ下面の曲げひび割れの影響が見られ, A, C よりも早くコーン状のひび割れ発生や耐力低下が起こり, 耐力低下した。

最小へりあきを 50mm とした TP-12E シリーズは, C→A→B の順で試験を行った。TP-12E-C はひび割れの影響がないアンカーであるが, TP-12E-A は TP-12C シリーズの影響が, TP-12E-B は A, C の試験の影響がある。

いずれの試験体も, TP-12C シリーズとほぼ同様の荷重変位関係を示したが, 床スラブ下面の曲げひび割れの影響の大きいアンカーほど, 剛性の低下が早いことが確認される。下層壁側面のコーン状のひび割れは, へりあきの小さい面の方が範囲の広いひび割れとなっていることが確認された。

TP-12E-B アンカーでは, 最大耐力直後に浅いコーン状破壊の兆候があり, 変位が進むにつれて浅いコーンの形状が見て取れるようになった。



(a) TP-12C シリーズ

(b) TP-12E シリーズ

図 4.3-4 荷重—抜け出し変位関係 (TP-12C シリーズ, TP-12E シリーズ)

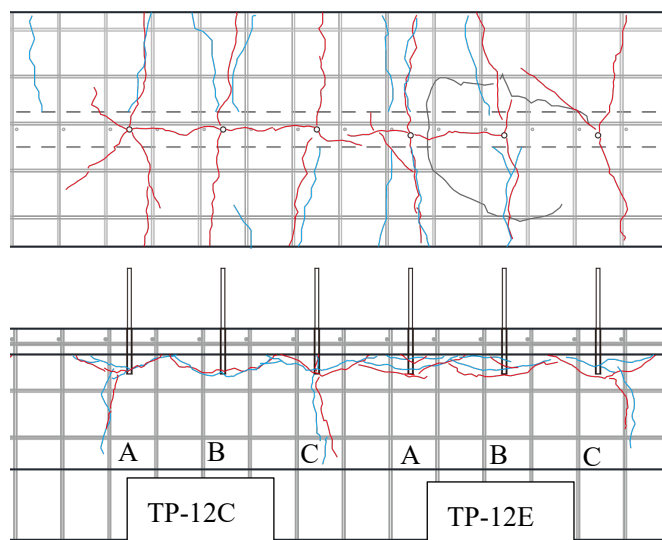


図 4.3-5 ひび割れ図 (TP-12C シリーズ, TP-12E シリーズ)

他のアンカー試験によるひび割れの影響のない、TP-12C-A および TP-12E-C について、アンカー周辺の鉄筋に張り付けたひずみゲージによるひずみ計測結果を示す。ひずみゲージは図 4.3-6 に示す位置に貼り付け、すべてのアンカーで相対的な位置関係は同じとなるようにしている。TP-12C-A および TP-12E-C の周辺鉄筋の荷重—ひずみ関係を図 4.3-7 に示す。図より、定性的には有意な差は見られないが、TP-12E シリーズの方が、へりあきの小さい方のスラブ筋の大きなひずみが生じており、破壊性状がへりあきの違いで若干異なることが推察される。

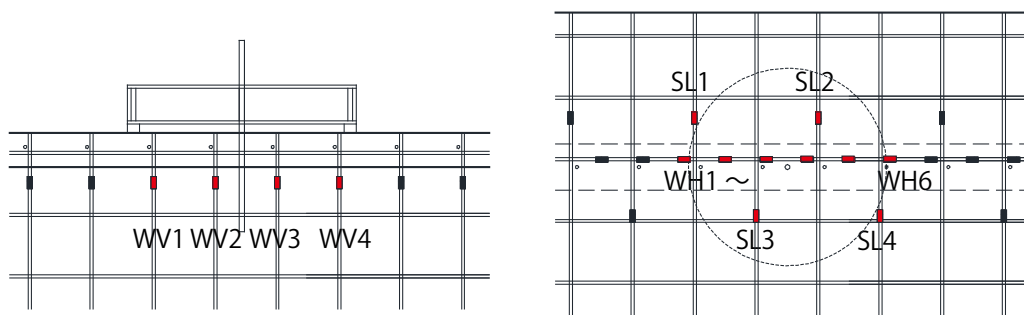


図 4.3-6 ひずみゲージ位置図

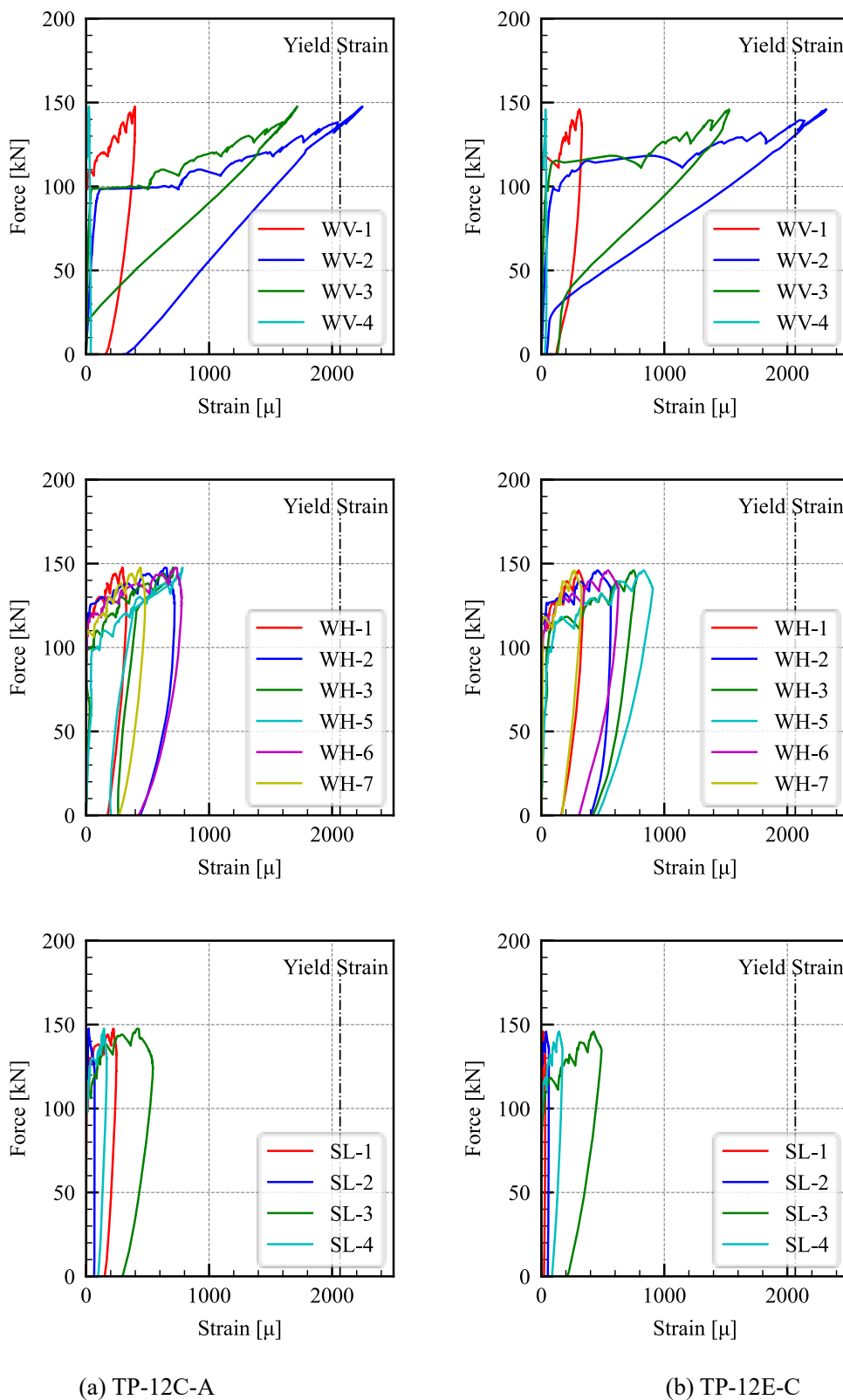
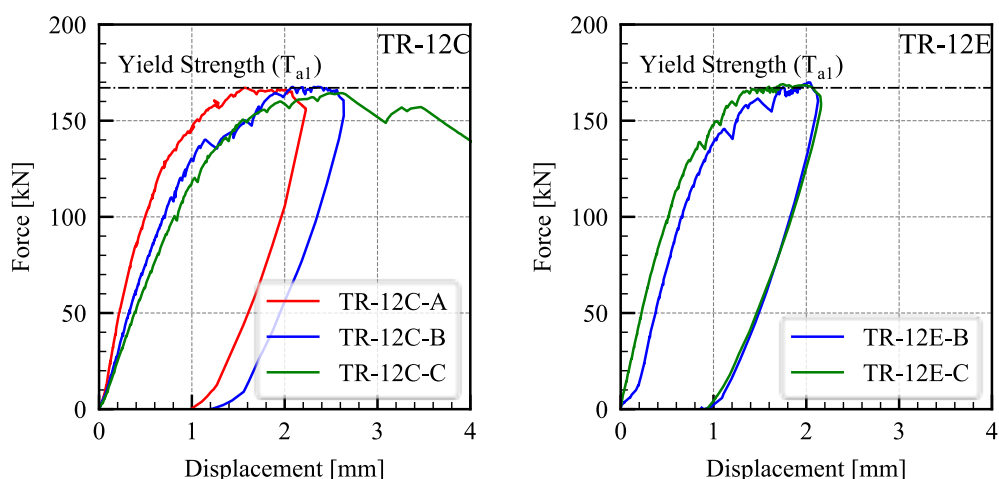


図 4.3-7 荷重—歪関係

続いて、T型試験体・補強なし（TR）の埋め込み長さ $12d_a$ アンカーの試験結果を図4.3-8に示す。

下層壁面でのへりあきを75mmとしたTR-12Cシリーズは、A→B→Cの順番で加力した。TR-12C-A、TR-12C-Bは、100kNでアンカー筋から放射状のひび割れが発生し、140kN付近で床スラブ下壁部に縦ひび割れの発生が確認されたが、剛性低下したが、最終的に鉄筋が降伏した。TR-12C-Cは、鉄筋降伏の直前の $\delta=3\text{mm}$ 付近でコーン状破壊の様相が見られ、抜け出し上部での浅いコーン破壊が確認され、耐力低下した。その後、 $\delta=5\text{mm}$ 付近で付着破断音が聞こえ、耐力低下した。

下層壁面でのへりあきを50mmとしたTR-12Eシリーズは、TR-12E-Aについては、隣接するTR-12C-Cのコーン状破壊の影響で支点を設置することができなかったため、試験を行わなかった。残りのアンカーについては、C→Bの順で加力した。いずれも、TR-12Cシリーズとほぼ同様の破壊過程を経て、鉄筋が降伏した。



(a) TR-12C シリーズ

(b) TR-12E シリーズ

図4.3-8 荷重—抜け出し変位関係（TR-12Cシリーズ，TR-12Eシリーズ）

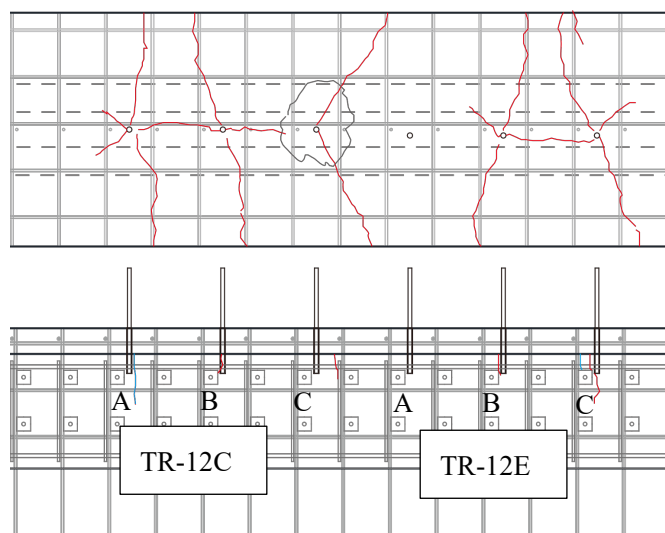


図4.3-9 ひび割れ図（TR-12Cシリーズ，TR-12Eシリーズ）

他のアンカー試験によるひび割れの影響のない、TR-12C-A および TR-12E-C について、アンカー周辺の鉄筋に張り付けたひずみゲージによるひずみ計測結果を図 4.3-10 に示す位置に貼り付け、すべてのアンカーで相対的な位置関係は同じとなるようにしている。TP-12C-A および TP-12E-C の周辺鉄筋の荷重—ひずみ関係を図 4.3-11 に示す。

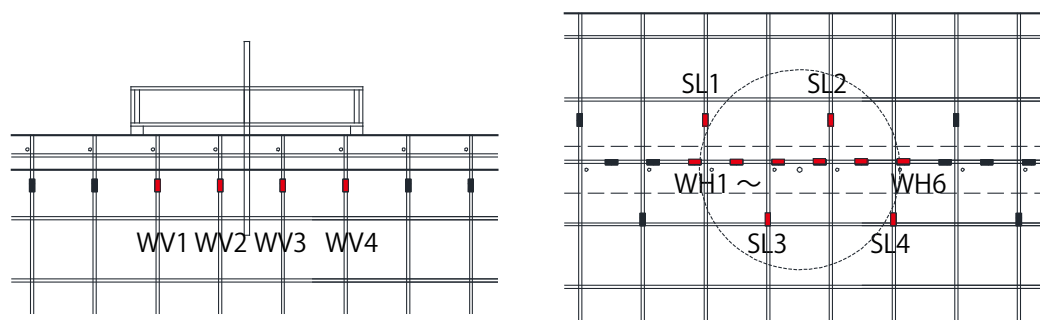
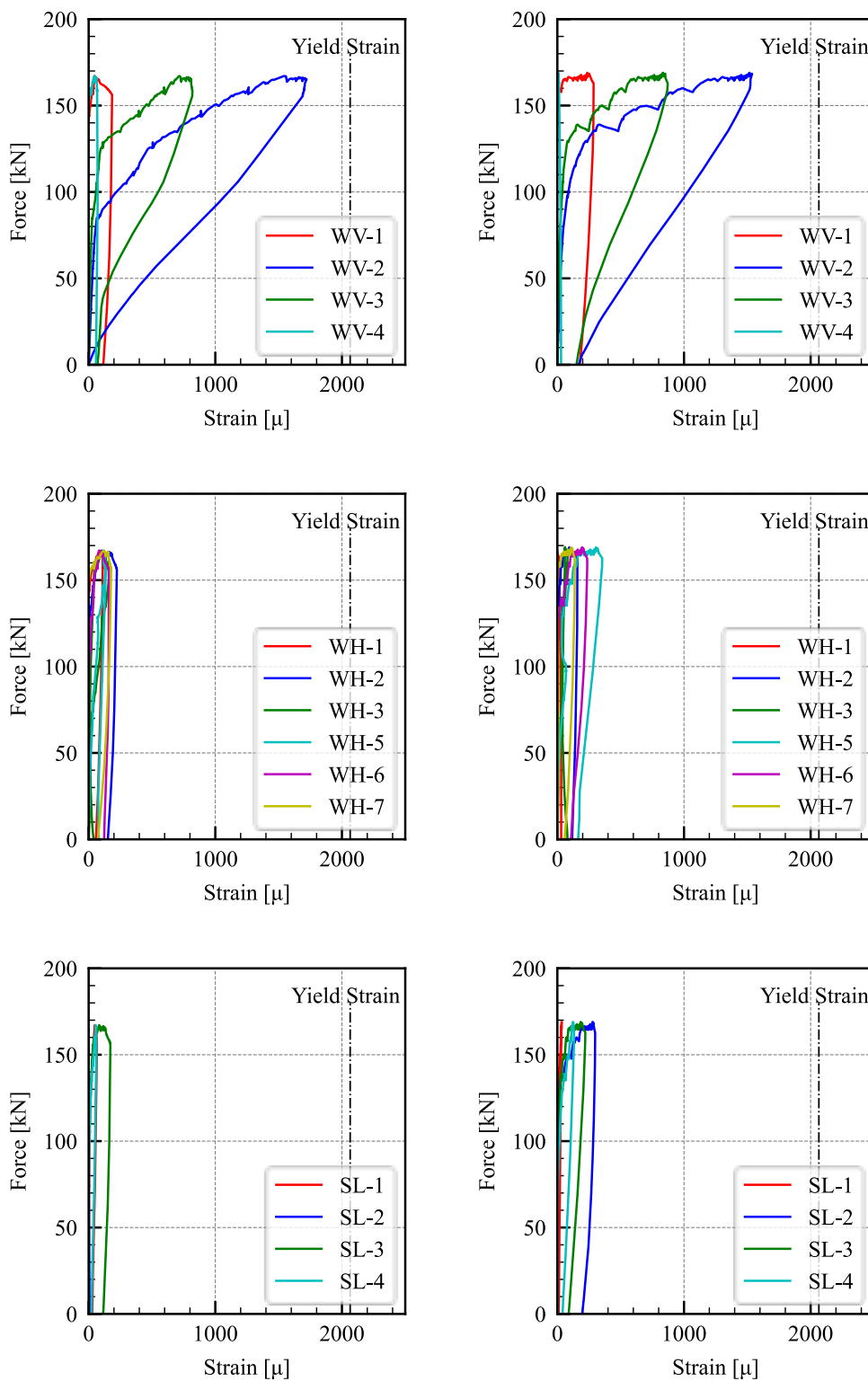


図 4.3-10 ひずみゲージ位置図



(a) TR-12C-A

(b) TR-12E-C

図 4.3-11 荷重—歪関係

4.3.2 実験結果の比較

全アンカー試験体の試験結果の一覧を表 4.3-1 に示す。初期剛性については、荷重 20kN から 50kN の間での荷重変形関係の傾きから算定した。また、破壊モードについては、鉄筋降伏を Y、付着破壊を B、浅部コーン破壊を伴う付着破壊を B+C とした。

表 4.3-1 実験結果一覧

| | Stiff. | Max. Force | Failure | | Stiff. | Max. Force | Failure | | Stiff. | Max. Force | Failure |
|--------|---------|------------|---------|----------|---------|------------|---------|----------|---------|------------|---------|
| | [kN/mm] | [kN] | Mode | | [kN/mm] | [kN] | Mode | | [kN/mm] | [kN] | Mode |
| M-20-A | 169.6 | 167.3 | Y | TP-20C-A | 177.7 | 168.4 | Y | TR-20C-A | 149.5 | 169.9 | Y |
| M-20-B | 141.0 | 167.7 | Y | TP-20C-B | 122.3 | 168.3 | Y | TR-20C-B | 127.4 | 168.0 | Y |
| M-20-C | 166.7 | 168.9 | Y | TP-20C-C | 153.8 | 169.6 | Y | TR-20C-C | 148.2 | 171.8 | Y |
| M-12-A | 166.7 | 167.6 | Y | TP-12C-A | 137.8 | 147.6 | B | TR-12C-A | 158.1 | 167.1 | Y |
| M-12-B | 81.1 | 161.9 | Y | TP-12C-B | 83.2 | 133.7 | B | TR-12C-B | 114.6 | 167.6 | Y |
| M-12-C | 159.8 | 166.4 | Y | TP-12C-C | 118.5 | 144.5 | B | TR-12C-C | 99.5 | 164.4 | B+C |
| | | | | TP-12E-A | 127.0 | 141.8 | B | TR-12E-A | | | |
| | | | | TP-12E-B | 87.8 | 134.6 | B+C | TR-12E-B | 135.9 | 169.9 | Y |
| | | | | TP-12E-C | 165.4 | 145.9 | B | TR-12E-C | 136.0 | 169.0 | Y |

T 型試験体・補強無し (TP シリーズ) および T 型試験体・補強あり (TR シリーズ) について、床面下面のひび割れの影響がないと思われる試験体について、荷重-変形関係を比較した結果を図 4.3-12 に示す。いずれのシリーズも、初期剛性はほぼ同値であるが、埋め込み長さ $12d_a$ のアンカーに比べて、埋め込み長さ $20d_a$ のアンカーの方が、剛性低下が少ないことが分かる。TP シリーズでは埋め込み長さ $20d_a$ でも、ひび割れによる剛性低下が認められる。へりあきの異なるアンカーを比較すると、荷重変形関係では有意な差は認められない。

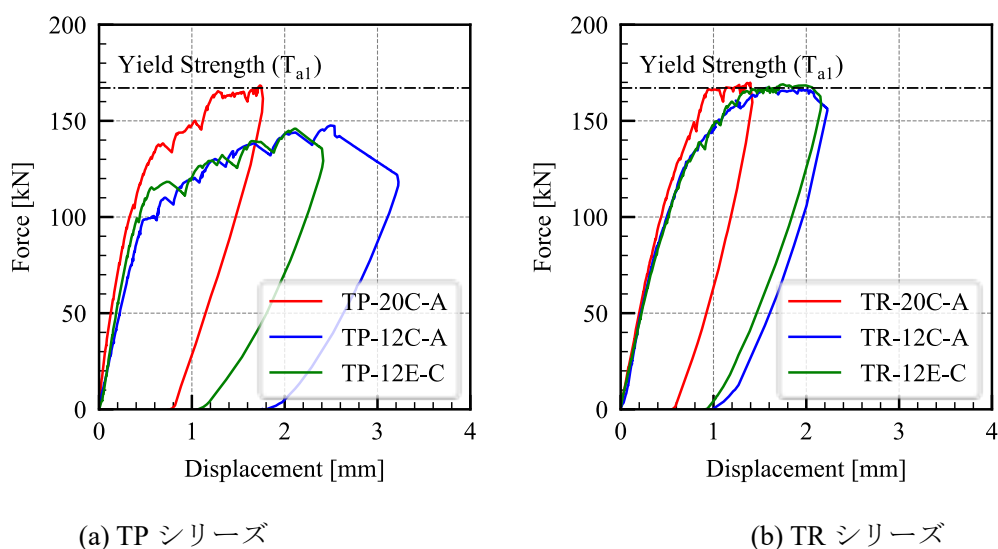
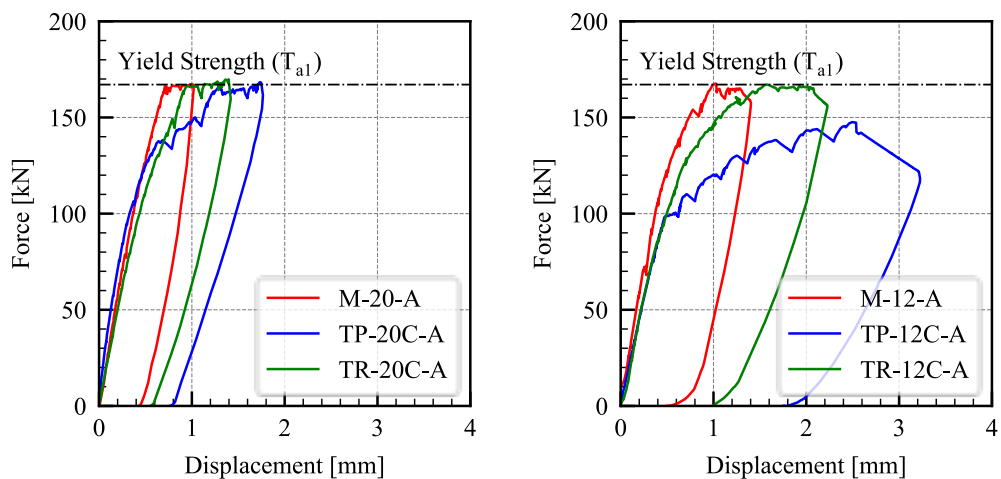


図 4.3-12 荷重変形関係の比較

埋め込み長さごとに荷重変形関係を比較した結果を図 4.3-13 に示す。埋め込み長さ $20d_a$ のアンカーでは、マットスタブ試験体のアンカーに比べると T 型試験体では若干の剛性低下が認められる。埋め込み長さ $12d_a$ では、へりあきの影響が顕著に見られる。



(a) 埋め込み深さ $20 d_a$

(b) 埋め込み深さ $12 d_a$

図 4.3-13 埋め込み長さごとの荷重変形関係の比較

4.3.3 あと施工アンカーの耐力評価

実験時の最大耐力と、4-2-5 節で示した耐力計算による計算値を比較した結果を図4.3-14に示す。浅部コーン破壊を伴う付着破壊となった TP-12 シリーズは、参考文献[4-1]に従った場合、最小値となるコーン破壊強度 T_{a2} により実験値をやや安全側に評価する。一方で、参考文献[4-2]に従った場合には、最小値となる付着破壊強度 T_{a3-2} は、実験値を過小評価している。鉄筋降伏した TR-12 シリーズでは、参考文献[4-1]に従った場合には、破壊モードはコーン破壊、参考文献[4-2]に従った場合には、付着破壊と判定され、実験とは異なる破壊モードで判定される。鉄筋降伏した TP-20 および TR-20 シリーズにおいては、参考文献[4-1]に従った場合には破壊モードを適切に評価できているのに対し、参考文献[4-2]に従った場合には、破壊モードは実験とは異なる付着破壊と判定される。

以上より、参考文献[4-1]に従う場合には、コーン破壊強度 T_{a2} がやや過小評価となっていると考えられ、一方で参考文献[4-2]に従う場合には、付着破壊強度 T_{a3-2} の評価において、へりあき等の影響を考慮した付着強度を過小評価していることが示唆される。

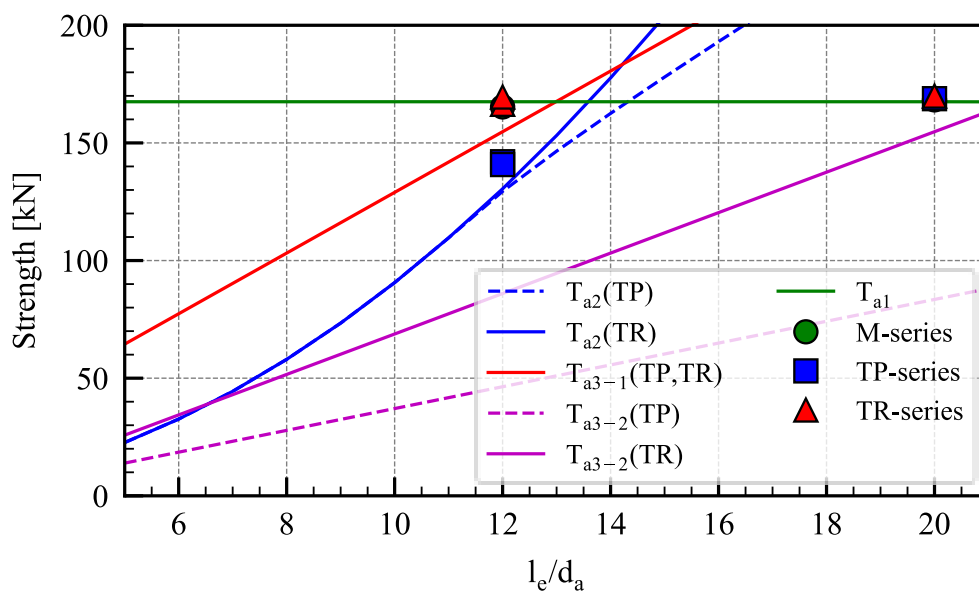


図 4.3-14 最大耐力の実験値と計算値の比較

4.3.4 アンカー筋の付着性状

フェイズ2で実施したひずみゲージ付きのあと施工アンカーのアンカー筋は、写真4.3-1に示すように、アンカー筋の両面に幅2mm、深さ3mmの溝を設け、その中に素線ゲージを貼り付け、配線を溝内部に収めて養生した。

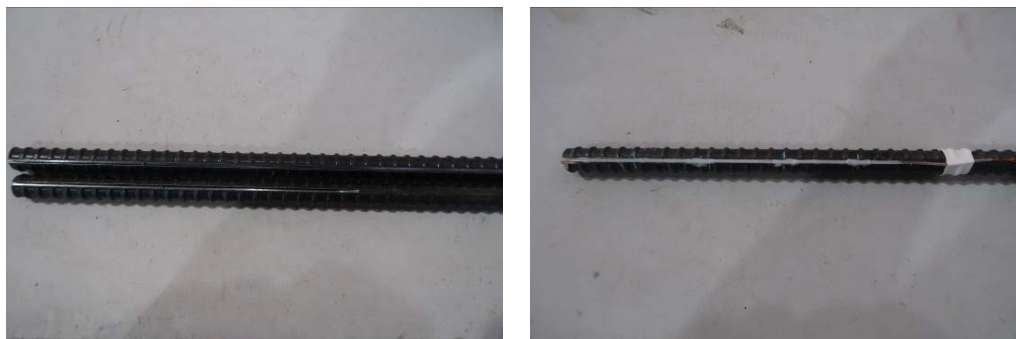


写真 4.3-1 溝切り鉄筋

フェイズ2として実施した、ひずみゲージ付きあと施工アンカーの非拘束付着試験における荷重変形関係を図4.3-15に示す。溝切りによる断面欠損の影響で、剛性・強度が低下しているが、埋め込み長さや梁補強の有無による荷重変形関係の差異は、4-3-2節で示した実験結果と定性的には同じとなっている。

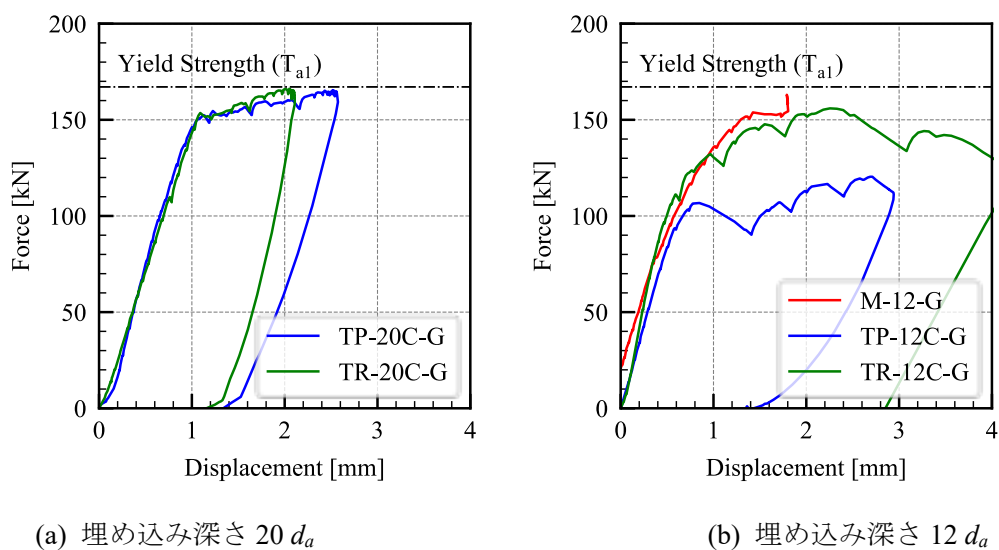
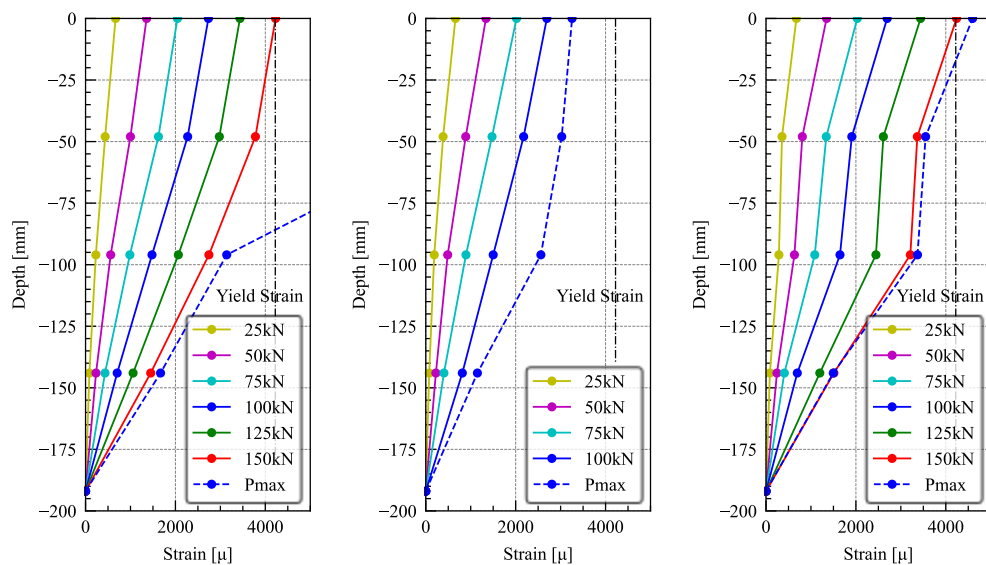


図 4.3-15 溝切りアンカーの荷重変形関係

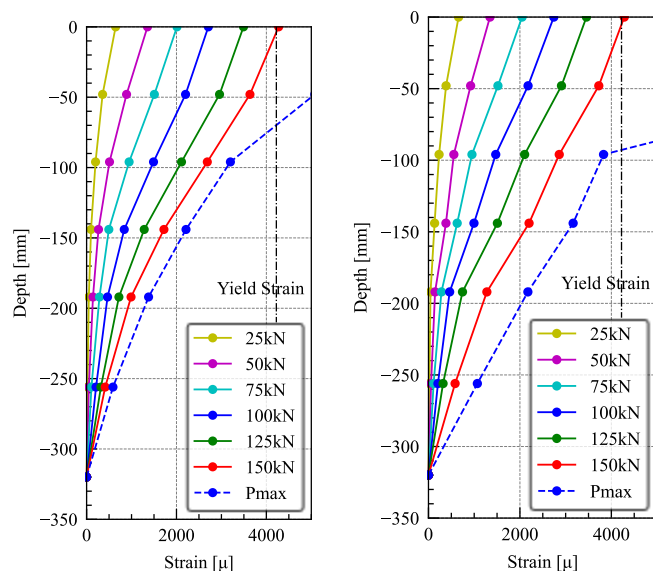
引張荷重 25kN ごとの各アンカーのひずみ分布を図 4.3-16 に示す。



(a) M-12-G

(b) TP-12C-G

(c) TR-12C-G



(d) TP-20C-G

(e) TR-20C-G

図 4.3-16 アンカー筋のひずみ分布

続いて、付着応力について検討する。ひずみから応力への変換は、応力ひずみ関係をバイリニア型と仮定し、ヤング係数および降伏強度を材料試験値 ($E_s=1.99 \times 10^5$ N/mm² および $f_y=841.7$ N/mm²) とする。応力の変化から、次式により計測区間での平均付着応力度を算定する。

$$e\tau_b = \frac{(\sigma_{i+1} - \sigma_i) \cdot A_s}{c \cdot l_{bi}} \quad (4.3.1)$$

ここに、 A_s : アンカー筋の公称断面積 (=198.6mm²)、 c : 周長 (=50mm)、 l_{bi} : 計測区間長

引張荷重 25kN ごとの各アンカーの付着応力度分布を図 4.3-18 に示す。また、荷重 50kN, 100kN, 150kN 時点での付着応力度分布を比較した結果を図 4.3-19 に示す。T 型試験体では、梁補強あり (TR シリーズ) の方が、梁補強なし (TP シリーズ) に比べて、床スラブと壁の境界付近 (深さ-110mm 前後) での付着応力が高くなっていることが分かる。

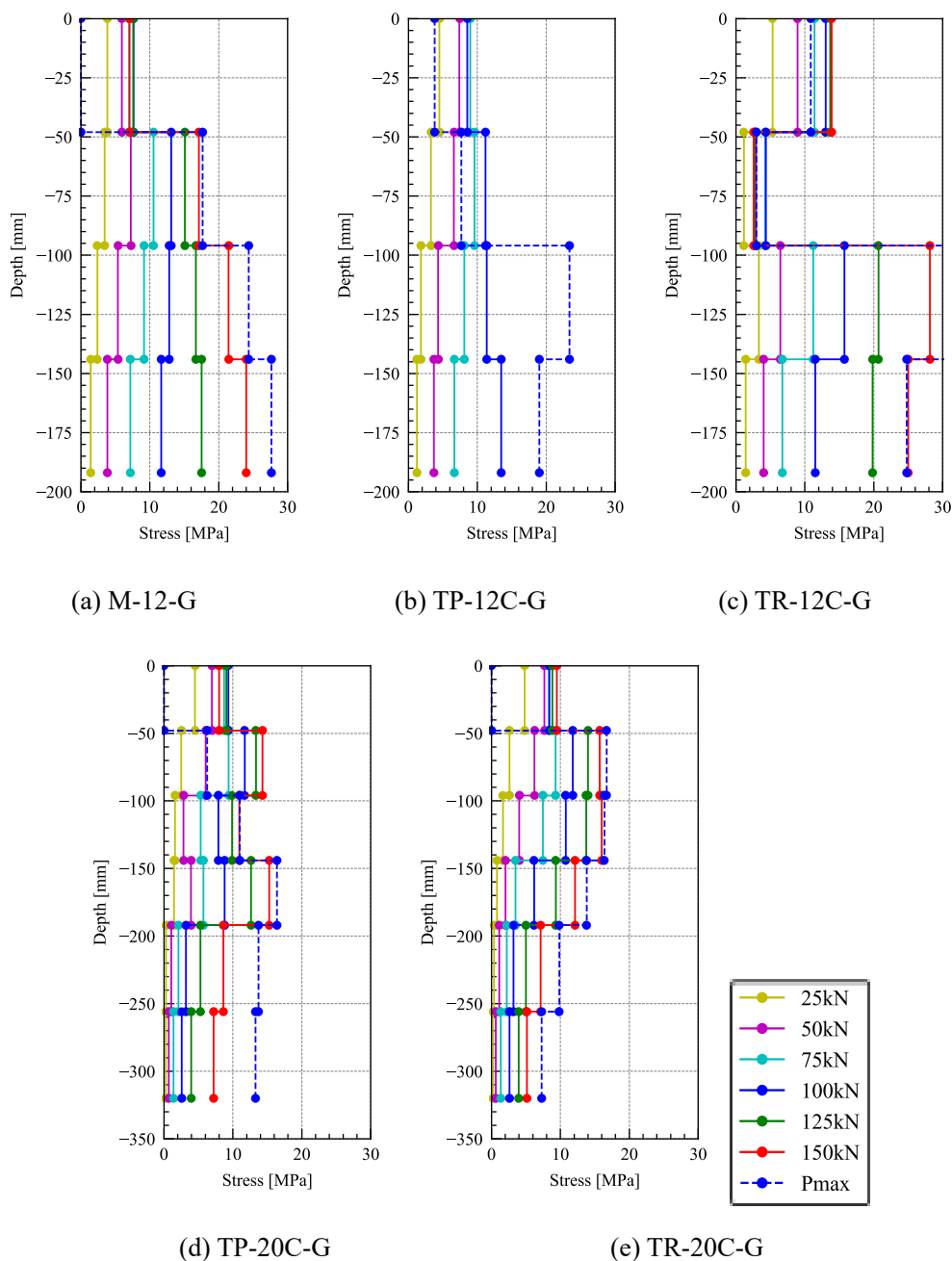
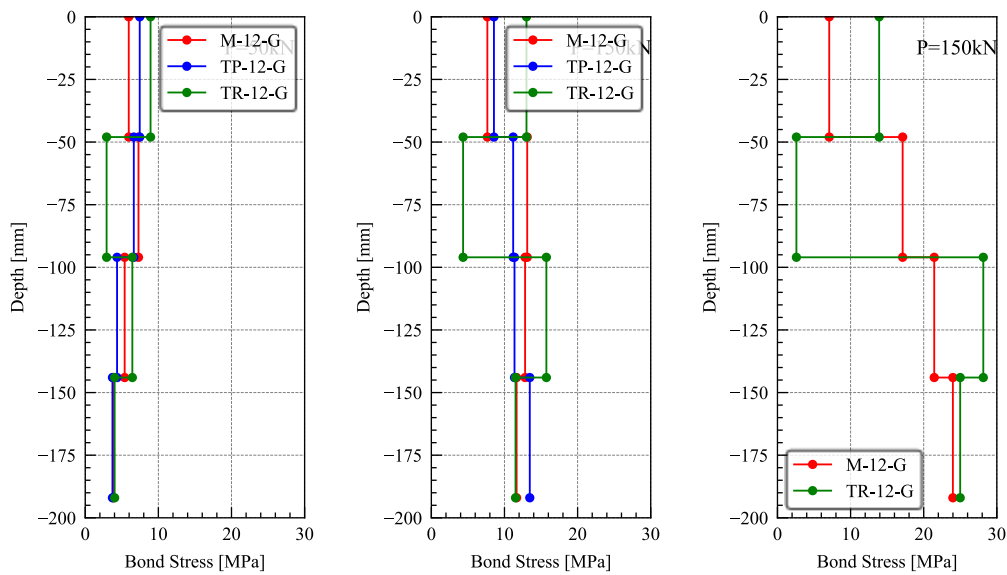
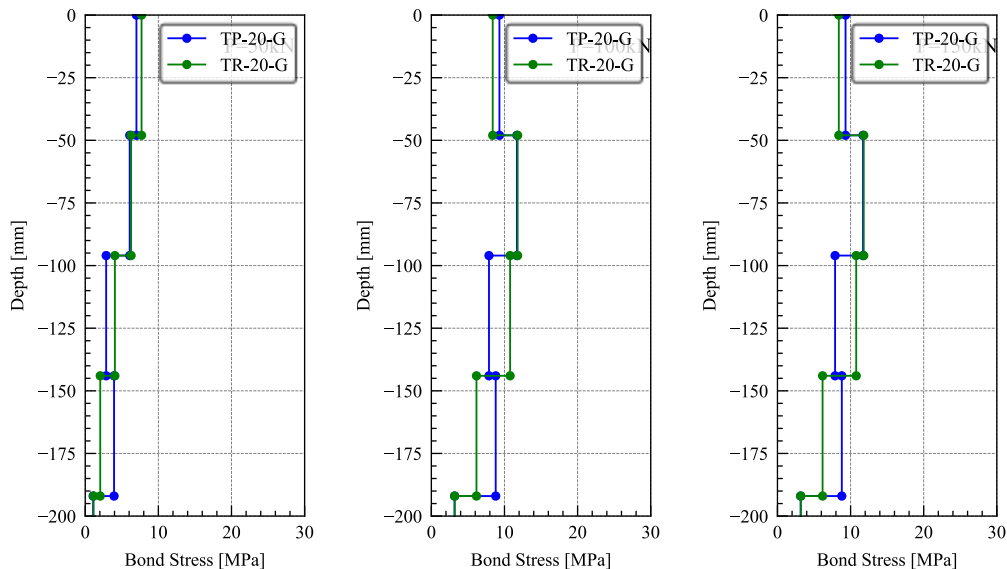


図 4.3-18 アンカー筋の付着応力度分布



(a) 埋め込み深さ 12da



(b) 埋め込み深さ 20da

図 4.3-19 荷重レベルごとのアンカー筋の付着応力度分布の比較

4.3.5 抜け出し変位の分析

あと施工アンカーの荷端側の抜け出し変位について、分析する。

アンカー筋に貼り付けたひずみゲージによる計測ひずみ値を用いて、図 4.3-20 に示すように先端部のひずみを 0 とし、計測点間のひずみ分布を線形であると仮定して、積分することで、鉄筋の伸び変形を算定した。なお、実験において使用した、荷端側の抜け出し変位計測用治具は、抜け出し界面から約 10mm の位置で固定されているため、界面でのひずみそのまま上部まで続いていると仮定して、積分値に累加している。

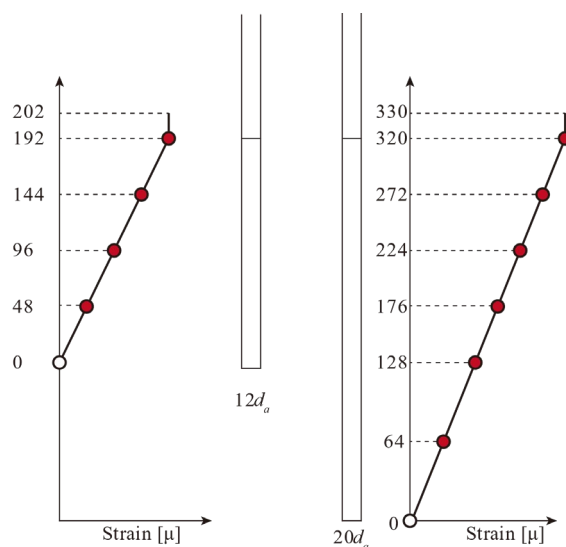


図 4.3-20 ひずみ分布の仮定

荷端側の抜け出し変位と、アンカー筋のひずみ積分値（鉄筋の伸び変位）を比較した結果を、図 4.3-21 に示す。図より、変位の小さい範囲では、抜け出し変位は鉄筋の伸び変位の 1.5 倍程度となっており、鉄筋の伸び以外の変位要因（鉄筋—接着剤、接着剤—コンクリート間の滑り）の影響が考えられる。

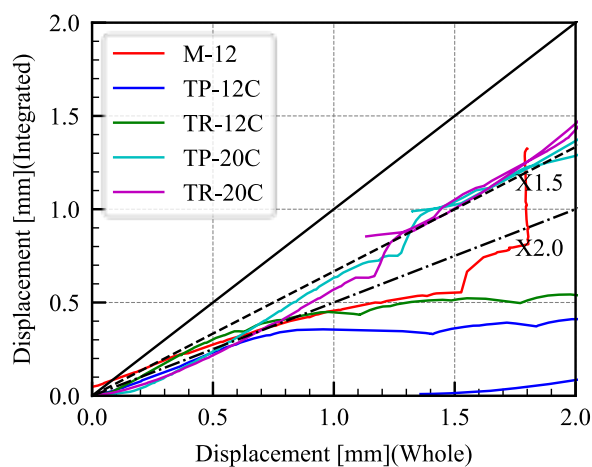


図 4.3-21 抜け出し変位計算値と実験値の比較

4.4 実構造物におけるあと施工アンカーの引張実験概要

4.4.1 対象構造物の概要

対象構造物は、5階建壁式構造物である。図4.4-1に示すように、過去に新設開口および周辺補強工事が行われている戸境壁を対象として、新設開口が設けられている3階および4階の開口位置下部において、あと施工アンカーを下向き施工した。なお、3階の開口周辺は、写真4.4-1に示すように開口周辺に鋼板による補強が行われている。ただし、補強の詳細は不明である。一方で、2階壁は補強されていないため、あと施工アンカー施工部のパラメータとしては、下階補強の有無となる。

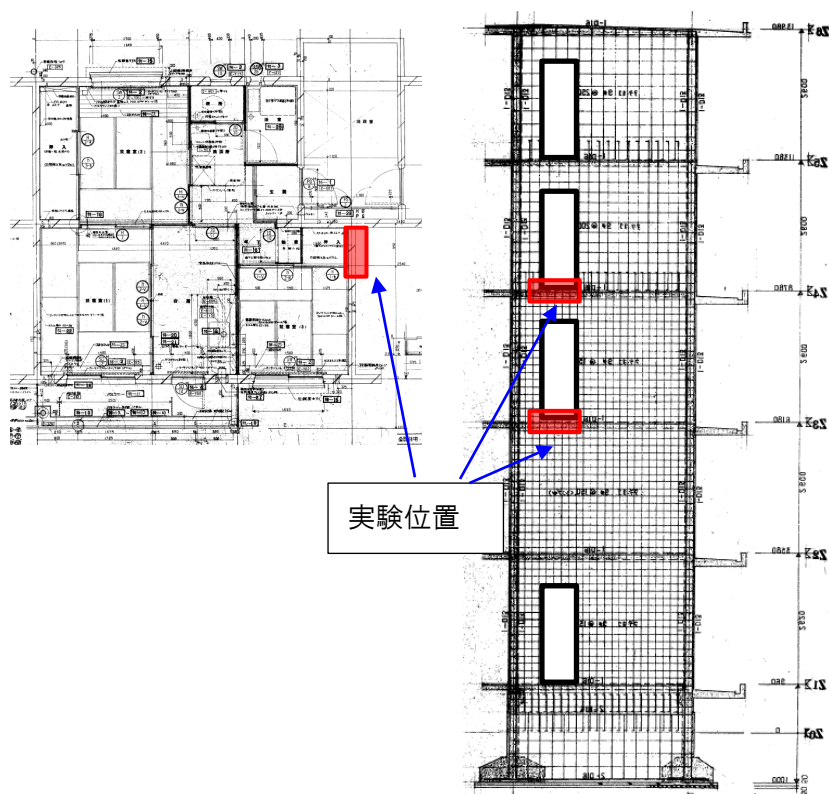


図 4.4-1 実験位置

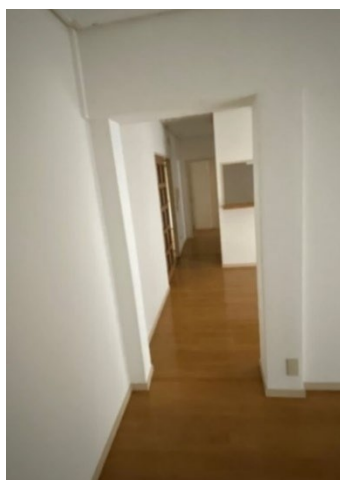


写真 4.4-1 開口周辺補強部

4.4.2 あと施工アンカー試験体概要

あと施工アンカー試験体の一覧を表 4.4-1 に、あと施工アンカー施工部の模式図を図 4.4-2 に示す。試験体のパラメータは、下階の補強の有無と、加力における拘束条件としている。下階の補強の有無については、4 階開口下部に施工したあと施工アンカーが下階補強あり (GR シリーズ), 3 階開口下部に施工したあと施工アンカーが下階補強なし (GP シリーズ) である。また、各階 2 本のあと施工アンカーを施工したが、1 本は開口端に近い位置となったため、加力において拘束位置が異なる。すなわち、拘束位置がアンカーから十分に離れた試験体 (-P), および、片側の拘束位置がアンカーに近い試験体 (-S) である。あと施工アンカーの有効埋め込み深さは $12d_a$ とした。

表 4.4-1 試験体一覧

| | 拘束なし | 片側拘束 |
|--------|----------|----------|
| 下階補強なし | GP-12C-P | GP-12C-S |
| 下階補強あり | GR-12C-P | GR-12C-S |

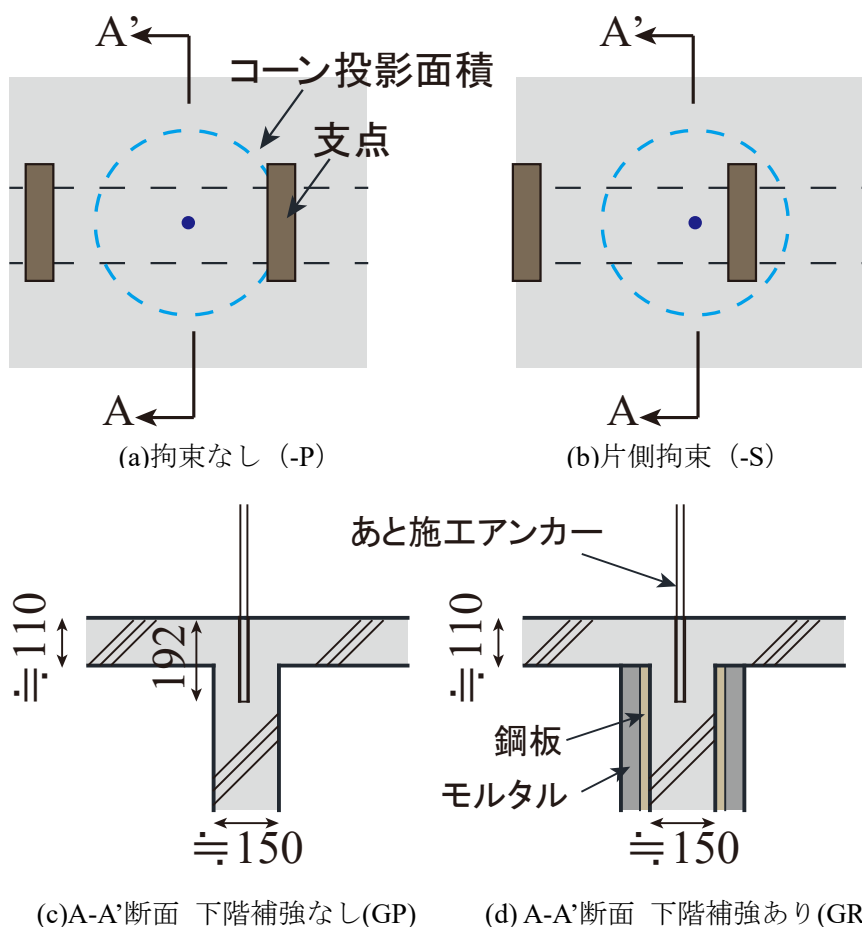


図 4.4-2 試験体模式図

4.4.3 あと施工アンカーの特性

使用したあと施工アンカーの諸元を表 4.4-2 に示す。また、アンカー筋の材料強度を表 4.4-3 に示す。アンカーの付着強度を確認するため、既存構造物から採取したコンクリートコアを用いてスライス供試体を作成し、拘束付着引張試験を実施した。

拘束付着引張試験に用いるスライス供試体は、アンカー施工面の壁(下階壁の上段・中段・下段)から採取したコンクリートコア(直径 100mm, 各 3 本)を実験室での拘束付着引張試験と同様に内径 200mm(および 150mm), 高さ 65mm(5da 相当), 板厚 8mm の鋼管に無収縮モルタルを充填して製作した(写真 4.4-2 参照)。そのスライス供試体にアンカー筋を垂直に施工して、スピードテスターを用いた拘束引張試験を実施した。アンカー付着試験の結果および荷重-自由端抜け出し変位関係を図 4.4-3 に示す。

試験の結果、平均付着応力度は 25.1N/mm^2 であった。特に供試体の鋼管径の大きさや採取箇所による顕著な違いは見られなかった。コンクリート強度が不明であるため基準付着強度を算定することはできないが、コンクリートの設計基準強度は 180kgf/cm^2 であることから、 15N/mm^2 以上の基準付着強度を期待できるものと考えられる。

表 4.4-2 あと施工アンカーの諸元

| | |
|-------|----------------|
| 接着剤 | エポキシ系 (EX-350) |
| アンカー筋 | D16 (MK785) |
| 穿孔方法 | 湿式コアドリル |
| 穿孔径 | 20mm |

表 4.4-3 アンカー筋の材料特性

| | |
|--------|------------------------|
| 規格 | MK785 |
| 降伏強度 | 841.5 N/mm^2 |
| 引張強度 | 1034.9 N/mm^2 |
| 降伏時引張力 | 167.1kN |



a) 供試体(内径 200 mm)



b) 供試体(内径 150 mm)

写真 4.4-2 既存構造物のコンクリートコアを用いた付着試験用供試体

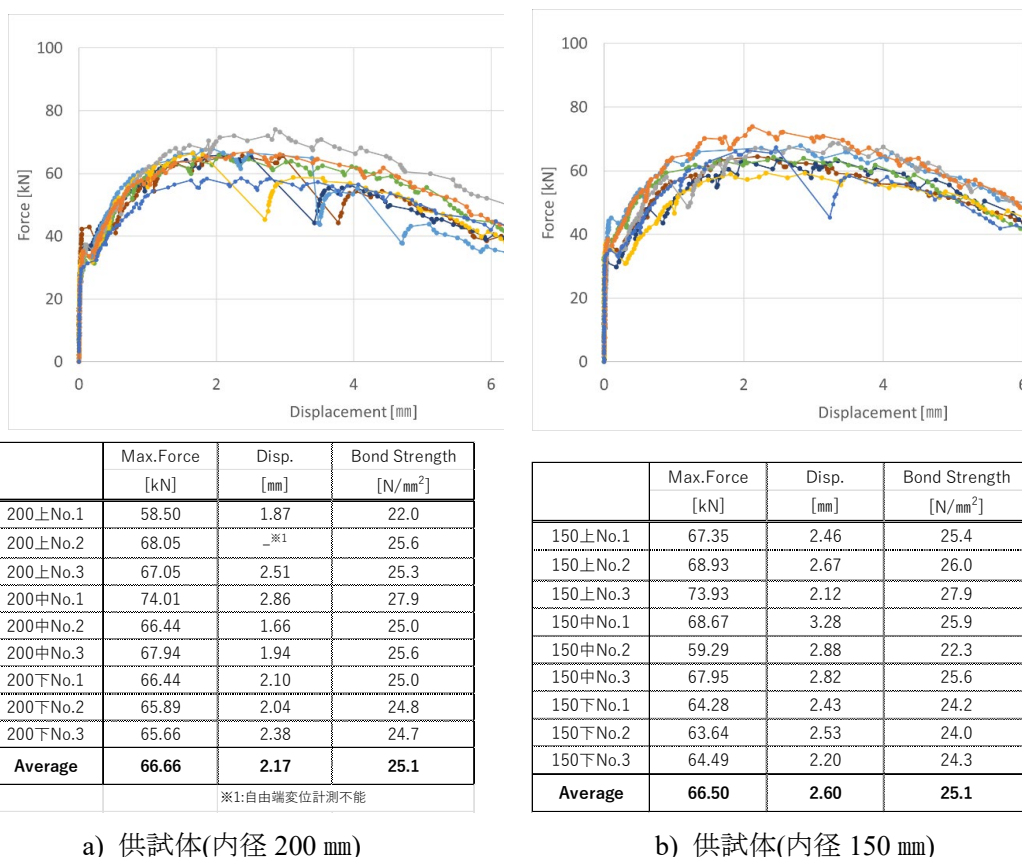


図 4.4-4 アンカー付着試験結果 (スライス供試体)

4.4.4 既存躯体コアの材料特性

既存構造物のコンクリート強度は、建設時の設計基準強度は 180 kg/cm²であるが、あと施工アンカーが定着される部分の現在のコンクリート強度を確認するために当時、同時に打設されたと考えられる同じ壁で3本のコア(φ100 mm)を採取し圧縮試験を行った。圧縮試験の結果を表 4.4-4 に示す。圧縮強度は、設計基準強度を大きく上回っており、既存構造物であるためのばらつきを踏まえて標準偏差を考慮しても、設計基準強度の 1.5 倍を上回っていたため、耐震診断等で用いる診断強度の考え方に準拠し、あと施工アンカーの耐力計算に用いるコンクリート強度を 27N/mm²とした。

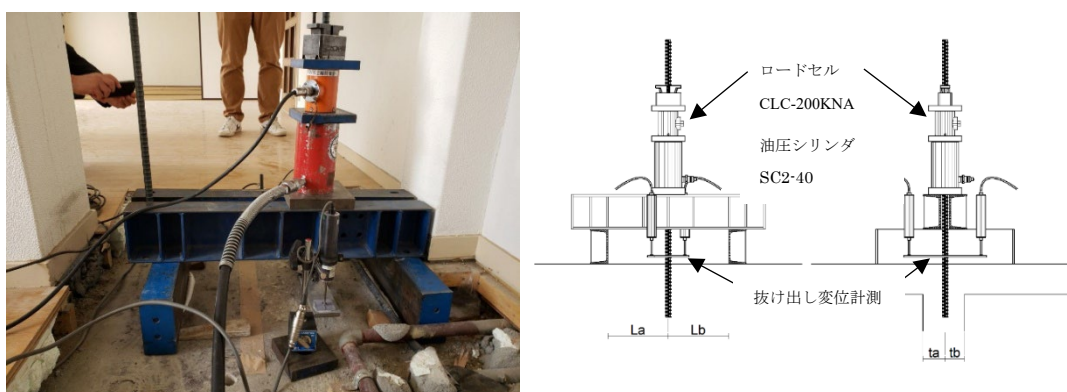
表 4.4-4 コアコンクリートの材料特性

| 補強 | 符号 | 補正後強度 [N/mm ²] | 平均 Xi [N/mm ²] | 標準偏差 σ _{n-1} [N/mm ²] | 推定強度 Xi-σ _{n-1} [N/mm ²] |
|----|-------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 無 | 201-1 | 31.1 | 32.6 | 2.01 | 30.6 |
| | 201-2 | 32.9 | | | |
| | 201-3 | 33.9 | | | |
| 有 | 301-1 | 34.2 | 34.2 | 1.69 | 32.5 |
| | 301-2 | 35.6 | | | |
| | 301-3 | 33.0 | | | |

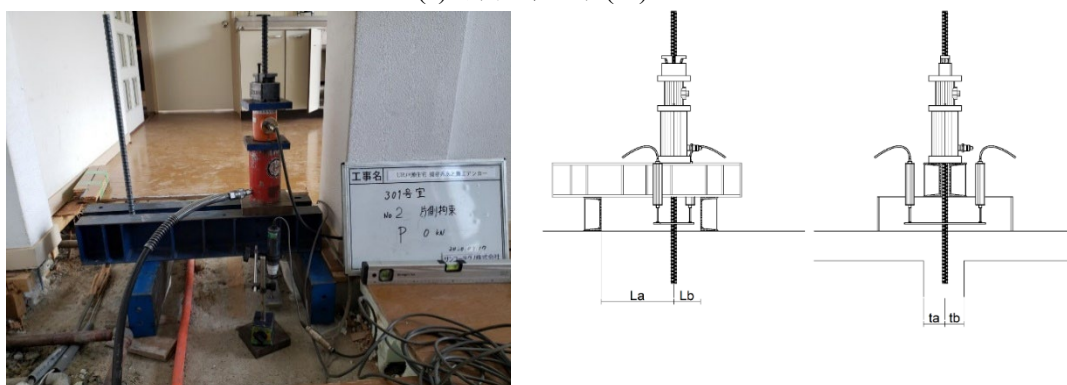
4.4.5 加力方法

拘束条件ごとの加力試験装置の概要を図4.4-3に示す。加力は、油圧ジャッキを用いて手動ポンプにて行った。荷重の計測は、ロードセルを用いて行い、変位の計測は、あと施工アンカーの抜け出し部分（コンクリートの表層に出ている部分の直上）にターゲットを用いて（水平にプレートを両側に出して）、コンクリート躯体から変位計（CDP-50）2本を出して計測した。

それぞれのあと施工アンカーの位置と、加力試験装置の支点位置の関係（ L_a 、 L_b ）および下階壁表面からのへりあき（ t_a 、 t_b ）を表4.4-5に示す。



(a) 非拘束試験(-P)



(b) 片側拘束試験(-S)

図4.4-5 加力試験装置概要

表4.4-5 試験体ごとのアンカー位置

| | L_a [mm] | L_b [mm] | t_a [mm] | t_b [mm] |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| GP-12C-P | 175 | 315 | 87 | 57 |
| GR-12C-P | 150 | 260 | 85 | 65 |
| GP-12C-S | 310 | 60 | 87 | 57 |
| GR-12C-S | 300 | 80 | 85 | 65 |

4.5 実構造物におけるあと施工アンカーの引張実験結果

4.5.1 荷重変形関係および破壊性状

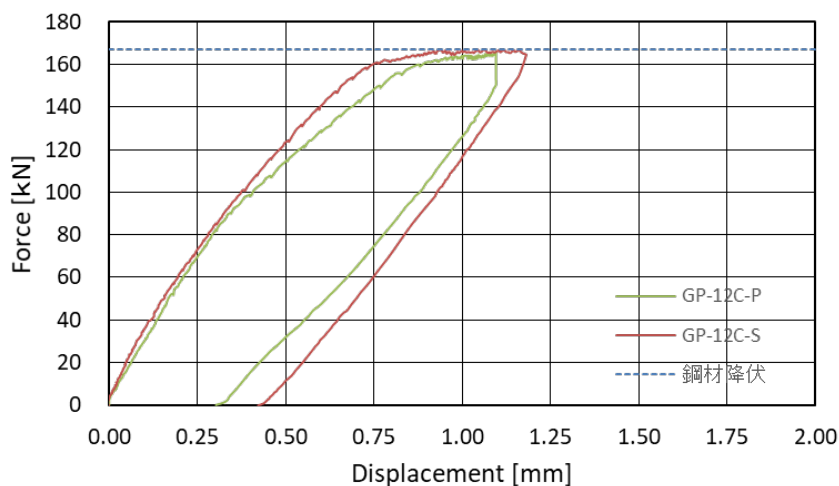
実験結果一覧を表 4.5-1 に、荷重-抜け出し変形の関係を図 4.5-1 に示す。

最大耐力はいずれの試験体も 167kN 前後であり、荷重-抜け出し変形の関係からもアンカー筋が降伏強度に達しているものと推察される。なお、GR-12C-S の初期の乱れは変位計測不良によるものである。

表 4.5-1 実験結果一覧

| 下階補強なし | 最大耐力 [kN] | 最大耐力時変位 [mm] | 下階補強あり | 最大耐力 [kN] | 最大耐力時変位 [mm] |
|----------|-----------|--------------|----------|-----------|--------------|
| GP-12C-P | 166.0 | 1.10 | GR-12C-P | 167.6 | 1.39 |
| GP-12C-S | 167.2 | 1.06 | GR-12C-S | 167.3 | 1.18 |

補強なし試験体



補強あり試験体

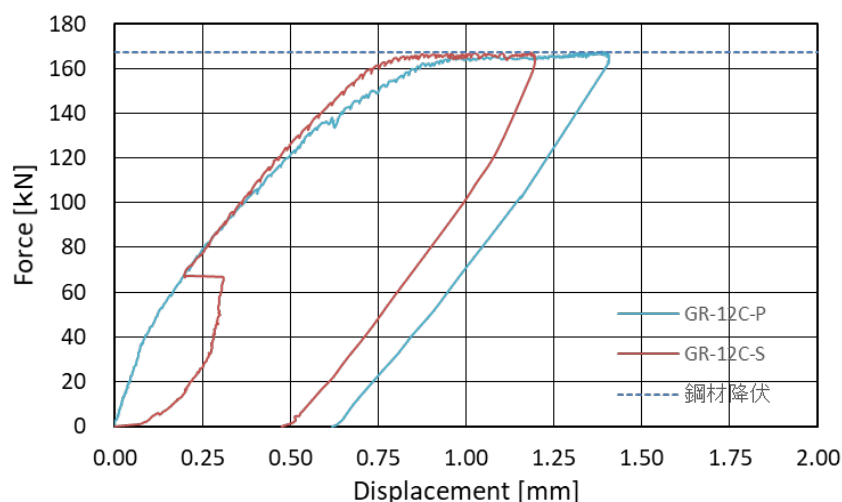


図 4.5-1 実験結果一覧

加力時に躯体コンクリートにひび割れが観測された、GP-12C-S のひび割れ状況を写真 4.5-1 に示す。ひび割れは、アンカー先端の壁面でへりあきが 57 mm と薄い側に

160kN 付近で確認されたが、荷重 - 抜け出し変位図からみると 100kN 付近からやや剛性の低下が確認できるため、表面にひび割れが発生する前に、内部でひび割れが入っていたなど、何らかの事象が起こっていたものと推察される。



写真 4.5-1 下階壁のひび割れ

4.5.2 あと施工アンカーの耐力評価

4.2.5 節と同様に、想定する破壊モードは、アンカー筋の降伏 (T_{a1})、コーン破壊 (T_{a2})、付着破壊 (T_{a3}) の 3 種類とし、あと施工アンカー強度指定申請ガイドライン^[4-1]、各種合成構造設計指針^[4-2]および耐震改修設計指針^[4-3]を参考に耐力を算定した。

ただし、コーン破壊や付着破壊の算定に用いるコンクリート強度 F_c については 4.4.4 節に示すコア抜き試験結果から 27N/mm^2 とした。また、付着基準強度については、4.3.3 節のスライス供試体の拘束付着試験結果より、 15MPa 以上期待できると判断し、 10MPa または 15MPa で算定した。

実験値と計算値を比較した結果を表 4.5-2 に示す。参考文献[4-1]に従った場合、アンカー筋の降伏 (T_{a1})、コーン破壊 (T_{a2})、付着破壊 (T_{a3-1}) の最小値を取ることとなるが、GP シリーズで付着基準強度を 10MPa とした場合には付着破壊耐力 T_{a3-1} が最小となり、その他ではコーン破壊耐力 T_{a2} が最小となる。いずれの場合においても、実験値を安全側に評価する。参考文献[4-2]に従った場合には、アンカー筋の降伏 (T_{a1})、付着破壊 (T_{a3-2}) の最小値を取ることとなるが、いずれも付着破壊耐力 T_{a3-2} の計算値が最小値となり、実験結果に対して安全側の評価となった。実験では、いずれも鉄筋降伏が先行したものと考えられ、実験値は計算値に対して十分に余裕がある結果となった。

表 4.5-2 実験結果と計算結果の比較

| 試験体名 | 最大耐力 [kN] | T_{a1} | T_{a2} | 10MPa | | 15MPa | |
|----------|--------------|----------|----------|------------|------------|------------|------------|
| | | | | T_{a3-1} | T_{a3-2} | T_{a3-1} | T_{a3-2} |
| GP-12C-P | 166.0 | 167.5 | 136.2 | 109.4 | 47.7 | 164.1 | 71.6 |
| GR-12C-P | 167.2 | | 130.2 | | 49.1 | | 73.6 |
| GP-12C-S | 167.6 | | 96.3 | | 47.7 | | 71.6 |
| GR-12C-S | 167.3 | | 104.8 | | 49.1 | | 73.6 |

4.5.3 実験室試験体との比較

4.2~4.3 節に示した、実験室で実施されたあと施工アンカー引張試験結果と、本節で示した実構造物で実施されたあと施工アンカー引張試験結果を比較する。下階補強の有無別に、荷重変形関係を比較した結果を図 4.5-2 に示す。なお、実構造物の下階補強の詳細は不明であり、詳細が分かっている実験室試験体の補強とは直接比較することは難しいが、ある程度の補強が施されているということで比較することとした。初期剛性が概ね一致しており、実験室の試験体と実構造物の試験体で同等の性能を有すると言える。

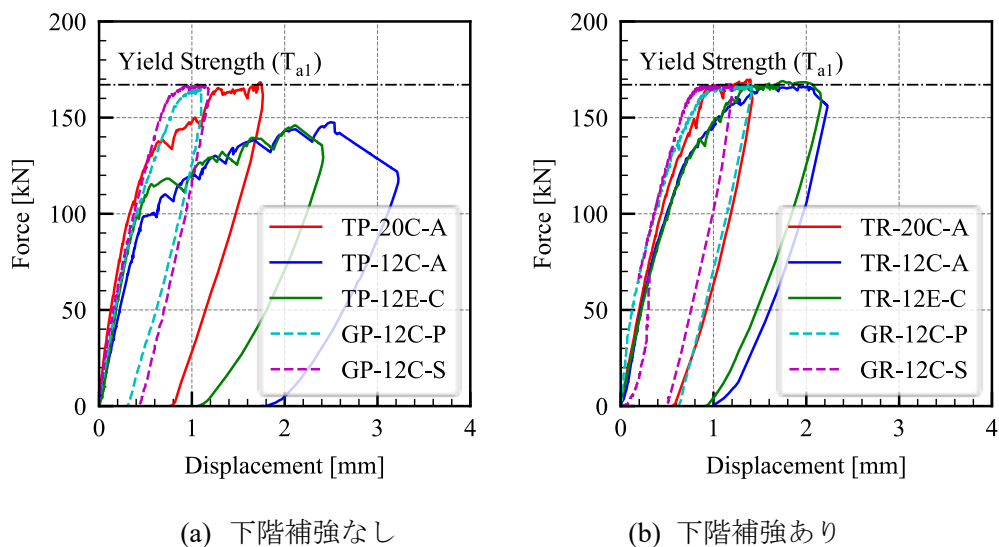


図 4.5-2 荷重変形関係の比較

4.6. まとめ

壁面内に施工されるあと施工アンカーの定着性能を明らかにすることを目的としたアンカー引張実験を実施し、以下の知見を得た。

- ① T型試験体に施工したあと施工アンカーについて、下部壁の外付け梁補強がなく、埋め込み長さを $12d_a$ とした場合には、浅部コーン破壊を伴う付着破壊が発生したが、梁補強がある場合や、埋込長さを $20d_a$ とした場合には鉄筋降伏が先行する破壊モードとなった。
- ② 壁内に定着するあと施工アンカーの耐力について既往の評価式を準用して評価したところ、安全側の評価となるものの、コーン破壊強度の評価や付着破壊強度の評価におけるへりあき等の影響考慮した付着強度について、過小評価している可能性が示唆された。
- ③ あと施工アンカーの埋め込み部におけるアンカー筋の付着応力分布は、荷重レベルが小さい範囲では、付着応力は施工面側に偏っているのに対し、荷重レベルが大きくなるにつれてアンカー筋先端側に付着応力が偏っていく傾向が見られた。
- ④ あと施工アンカーの抜け出し変形について、鉄筋の伸び変形だけでなく、異種材料間のすべりや周辺コンクリートの変形に起因する変形が生じる。埋め込み長さが短く、コーン状ひび割れや付着ひび割れが生じやすい試験体の方が、その割合が大きい。
- ⑤ 実際の壁式構造物に施工されたあと施工アンカーについても、実験室で確認されたアンカーの性能と同等の性能があることが確認された。

参考文献

- [4-1] 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，2022.4
- [4-2] 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010.11
- [4-3] 日本建築防災協会：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，2017