

別添

あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針

平成 1 8 年 5 月

あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針

目 次

第1章 適用範囲.....	1-1
1. 1 総則.....	1-1
1. 2 許容応力度・材料強度.....	1-3
1. 2. 1 あと施工アンカー.....	1-3
1. 2. 2 連続繊維.....	1-6
1. 3 あと施工アンカーの適用範囲.....	1-8
1. 3. 1 材料の種類及び規格.....	1-8
1. 3. 2 あと施工アンカーの品質.....	1-12
1. 4 連続繊維等の適用範囲.....	1-13
1. 4. 1 材料の種類及び規格.....	1-13
1. 4. 2 連続繊維シート等の品質.....	1-14
1. 5 その他の留意点.....	1-15
1. 5. 1 防火規定に関する事項.....	1-15
1. 5. 2 材料のシックハウス対策に関する事項.....	1-16
参考文献（第1章）.....	1-16
第2章 設計指針.....	2-1
2. 1 総則.....	2-1
2. 2 あと施工アンカー.....	2-1
2. 2. 1 一次設計.....	2-1
2. 2. 2 二次設計.....	2-3
2. 2. 3 構造細則.....	2-4
2. 3 炭素繊維及びアラミド繊維.....	2-5
2. 3. 1 一次設計.....	2-5
2. 3. 2 二次設計.....	2-7
2. 3. 3 構造細則.....	2-9
参考文献（第2章）.....	2-10
第3章 施工指針.....	3-1
3. 1 あと施工アンカー.....	3-1
3. 1. 1 総則.....	3-1
3. 1. 2 施工方法.....	3-2
3. 1. 3 品質管理.....	3-5
3. 1. 4 安全衛生管理.....	3-10
3. 2 炭素繊維・アラミド繊維等.....	3-10
3. 2. 1 総則.....	3-10
3. 2. 2 施工方法.....	3-12
3. 2. 3 品質管理.....	3-16
3. 2. 4 安全衛生管理.....	3-20

参考文献（第3章）	3－21
第4章 計算例.....	4－1
4. 1 あと施工アンカーを用いた耐震補強の計算例.....	4－1
4. 1. 1 鉄筋コンクリート増設壁により補強する場合	4－1
4. 1. 2 枠付き鉄骨ブレースにより補強する場合	4－5
4. 2 連続繊維を用いた耐震補強の計算例.....	4－8

参考資料

参考1 接着系あと施工アンカー 指定書（例）

参考2 炭素繊維 指定書（例）

第1章 適用範囲

1. 1 総則

1) 本設計・施工指針（以下、「本指針」という。）は、既存の鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造（補強対象部分に軽量コンクリートを用いるものを除く。以下「鉄筋コンクリート造等」という。）の建築物を対象として行われる耐震補強工事のうち、下記の(1)及び(2)の工法を適用し、当該部分の構造計算に平成13年国土交通省告示第1024号に基づき指定された許容応力度及び材料強度の数値を用いて安全性を確認する場合に適用する。

(1) あと施工アンカーを用いて架構内に現場打ち鉄筋コンクリート増設壁を設置する、あるいは枠付き鉄骨ブレースを設置する工法

(2) 連続繊維シートを柱に巻き付けて補強する工法

2) 本指針で対象とするあと施工アンカー及び連続繊維等の材料及び品質基準は、それぞれ1.3節及び1.4節に定める。

3) 本指針を適用するに当たっては、補強による固定荷重や積載荷重の増減を考慮した長期荷重により既存の鉄筋コンクリート造等の架構に生じる応力が長期に生ずる力に対する許容応力度を超えないことを確かめることのほか、現地調査等により既存躯体のコンクリートの品質に問題がないことを確認する。

4) 耐震補強の対象となる部材のコンクリートの圧縮強度 σ_B が、あと施工アンカーを用いる場合にあっては次の(1.1)式を、連続繊維シートを用いる場合にあっては次の(1.2)式を、それぞれ満足することを確認する。

$$\sigma_B \geq 18.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1.1)$$

$$\sigma_B \geq 13.5 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1.2)$$

ここで σ_B は、原則として耐震補強部位の近傍から3本以上採取したコアコンクリートの圧縮強度の平均値からその標準偏差を減じたものとする。

5) 本指針に規定する以外の躯体の仕様規定及び構造計算の方法並びに準拠すべき事項については、関連する設計・施工基準及び指針等による。

【解説】

ア) 本指針の位置づけ

本指針は、これまで建築物の耐震改修の促進に関する法律（以下「耐震改修促進法」という。）に基づく改修工事において実績のある材料であるあと施工アンカーや連続繊維シートを用いて、建築基準法令に適合していない既存建築物を建築基準法令に適合するように耐震補強を行う場合における、補強部分の性能確認の方法及び一定の性能を確保するために設計・施工上配慮すべき事項を示している。これらの材料は、平成18年2月28日に改正された平成13年国土交通省告示第1024号（特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件）（以下単に「告示」という。）に基づき、構造計算に必要となる許容応力度及び材料強度を国土交通大臣が指定することにより建築基準法令に適合することを確認できる材料として位置づけられた。しかし、これらの材料の性能は、適切な品質を有し、かつ適切な方法で構造計算が行われ、適切な方法で施工される場合に初めて発揮されるため、具体的な構造安全性の確認の方法、並びに製造及び施工における品質管理の基準や方法を示すものとして本指針が定められた。また、工法の実績や構造設計の難易度、施工性を考慮して広く一般に用いることのできる工法に適用範囲を限定した。

イ) 補強を行う部分以外の扱い

本指針は、あと施工アンカー又は連続繊維シートを用いて耐震補強を行う既存建築物について、(1) 構造計算を行い建築基準法令に適合していることを確認する際に用いられる設計指針、(2) 一定の品質を確保するために施工上必要な留意点等を示した施工指針、及び(3) 計算例から構成される。本指針に従い補強された建築物は通常の許容応力度等計算によって建築基準法の想定する安全性を有することを確認することとなるが、これらの構造計算のうち本指針に特に記載のない項目や適用すべき基準に関しては、原則として「建築物の構造関係技術基準解説書」^[1]に従うものとし、本指針はこの解説書を補足するものとして取り扱う。

ウ) 対象となる工法

耐震補強工法についてはこれまで種々の工法が提案されているが、本指針においてはそれらのうち、研究事例、設計・施工事例、関連する技術資料が比較的良好に整備されている以下の二つの工法に限定して適用することとした。

- (1) あと施工アンカーを用いて既存の架構内に鉄筋コンクリート増設壁を設置する、あるいは枠付き鉄骨ブレースを設置する工法
- (2) 連続繊維シートを用い、エポキシ樹脂等を含浸させて既存の柱の外周部に巻き付けることにより補強する工法

これらのうち工法(1)については、純フレーム架構内に新たに耐震要素を設置する場合のみを対象とした。既存の耐力壁等の壁厚を増すもの、あるいはこれに併置して鉄骨造ブレースを増設するものなど、既存壁を利用した補強工法は本指針の対象外である。工法(1)による場合の原則として、鉄筋コンクリート増設壁は最下層からの連層壁とする、枠付き鉄骨ブレースの斜材には細長比58以下の部材を用い、各ブレース架構内で左右対称となるようにK型あるいはX型に配置する等がある。

工法(2)の連続繊維シートについては、連続繊維をシート状に編組し、これにエポキシ樹脂を含浸させることで既存部材と一体化するよう巻き付けて独立柱のせん断補強に用いる場合を対象とする。

工法(1)(2)を適用する場合の具体的な補強設計・施工については本指針によるほか、本指針に記載のない事項については、関連する規程及び指針等を参照することができる。これらのうち代表的なものを本指針中での略称とともに下記に示す。

■略称	■書籍名・発行年等
RC耐震診断基準・RC耐震改修指針	(財)日本建築防災協会「2001年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説」2001年12月
SRC耐震診断基準・SRC耐震改修指針	(財)日本建築防災協会「改訂版 既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説」1997年12月
連続繊維指針	(財)日本建築防災協会「連続繊維補強材を用いた既存鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針」1999年9月
外側改修マニュアル	(財)日本建築防災協会「既存鉄筋コンクリート造建築物の外側耐震改修マニュアル」2003年2月
改修標仕	(財)建築保全センター「公共建築改修工事標準仕様書(建築工事編)平成16年度版」2004年4月
改修監理指針	(財)建築保全センター「建築改修工事監理指針(平成16年度版)」2005年12月
アンカー指針	(社)あと施工アンカー協会「あと施工アンカー施工指針(案)・同解説」2005年5月
学会RC規程(1999版)	(社)日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説 一許容応力度設計法(1999)
合成構造指針	(社)日本建築学会「各種合成構造設計指針・同解説」

エ) 留意事項等

耐震補強工事の設計・施工に当たっては、現地調査等の結果を慎重に検討した上で方針を決定する。本指針の適用は既存建築物に限られており、かつ、そのうち補強に伴う荷重の変動を考慮した長期荷重に対して既存の架構が長期に生ずる力に対する許容応力度内に収まっているもので、原則として躯体コンクリートに不良箇所がないものを対象とする。不良箇所が見られた場合には、当該部分を適切に補修するとともに補強設計時に想定する性能が期待できるか、当初の補強計画部位が補強箇所として適切であるか等について慎重に判断する。

鉄筋コンクリート造等による建築物ではコンクリートの品質は構造性能を支配する重要な要因である。本指針では耐力評価式の適用範囲、補強効果の信頼性等を考慮し、耐震診断基準に準じてコンクリート圧縮強度による適用範囲を設定した。ただし本指針の式は耐震診断基準における標準偏差の1/2を減じる規定とは異なっている。本指針で規定した式による場合、躯体コンクリートの平均強度は概ね95%の確率で σ_B を上回ることとなる（採取コアサンプル数が3本の場合）。ここで規定した σ_B は補強対象部分の近傍で採取した試験体の強度を参照して定める必要がある。目安として階ごと、工期ごとに評価するほか、増築等により異なる時期に施工された部位・区域についても別に評価する。ただし、補強計画に当たって躯体コンクリートの設計基準強度を定めるためにあらかじめコンクリート強度試験が実施されており、それが補強対象部分の近傍で採取した試験体に基づいたものであればその結果を用いてよい。注意すべき点としては、(1.1)式や(1.2)式は補強工法の適用の可否を判断するために用いる式であり、建築物全体の構造計算に用いるコンクリート強度（実際の補強計画において建築物の応力解析等に用いるコンクリート強度）は、別に定める必要がある（2.1節参照）。

1. 2 許容応力度・材料強度

1. 2. 1 あと施工アンカー

- 1) あと施工アンカーを用いた接合部の許容応力度及び材料強度は、それぞれ国土交通大臣の指定する数値とする。
- 2) あと施工アンカーの設計用断面積その他必要な数値は、1)の指定書に示す数値とする。

【解説】

ア) 基本的な考え方

補強工事に当たっては、採用した工法の安全性を構造計算によって確認する必要がある。このとき一次設計・二次設計で必要となる許容応力度及び材料強度に関しては、あと施工アンカー製品ごとに大臣が強度を指定すると告示で規定されており、これらの数値を用いる。現在のところ、(社)あと施工アンカー協会の製品認証制度に基づく製品は、既往の耐震改修において一般に用いられてきた実績があるので、その実績の範囲内で大臣による数値の指定が行われる予定である。ここで指定されるあと施工アンカーの許容応力度及び材料強度の数値は、基本的にはRC耐震改修指針のあと施工アンカーの各種強度式に基づくものとなる予定であり、本指針の第2章ではこれら耐震改修指針の計算方法を踏襲することとした。以下イ)～オ)として、耐震改修指針で広く用いられている設計用耐力及びそれに基づく短期許容耐力の設定の方法を示す。大臣の強度指定を受けて使用する場合、実用上はこの考え方に基づき設計する。

なお、本指針では、あと施工アンカーを長期荷重を負担するような補強に用いることを適用対象外とした。これは、コンクリートの乾燥収縮及びクリープや長期のコンクリートのひび割れ強度の劣化など、あと施工アンカーの引張り及びせん断抵抗機構の経年劣化に関する設計法が存在しないためで

ある。そのため、長期許容引張力や長期許容せん断力については本指針では規定していない。このような適用を考える場合には、1.1節エ) に示したように個別の評価を経てあと施工アンカーを使用する方法にて利用されたい。

イ) あと施工アンカーを用いた接合部の引張耐力 Ta

金属系及び接着系のあと施工アンカーを用いた接合部の引張耐力 Ta は、使用される鋼材及びコンクリートの材料強度等を用いて、それぞれ（解1.1）式及び（解1.2）式で算定する。RC耐震改修指針やSRC耐震改修指針では、あと施工アンカーを用いた接合部の引張耐力は鋼材の降伏で決まる引張強度 Ta_1 、コンクリートのコーン状破壊で決まる引張強度 Ta_2 、付着力で決まる引張強度 Ta_3 のうち、最も小さいものとしている。なお、 Ta_3 は接着系アンカーの場合にのみ適用されるが、樹脂とコンクリートの界面剥離を対象としているのではなく、コンクリートの表層を剥ぎ取るような凝集破壊を想定しているため、コンクリート強度 σ_B を用いて算定する式が示されている。

（解1.1）式及び（解1.2）式は個々の補強部分の耐力の算定式であるので、コンクリート強度 σ_B の数値は、1.1節で本指針の適用範囲であるかどうかを判定するために用いた補強部分近傍のコアコンクリートの強度に基づく数値とする。このとき、個々の補強対象部位で σ_B が 36N/mm^2 を超えるような場合、金属系アンカーでは打ち込み不良が想定されるため、使用を避ける必要がある。

(a) 金属系アンカー

$$Ta = \min[Ta_1, Ta_2] \quad (\text{解1.1})$$

ただし $Ta_1 = \min[_m\sigma_y \cdot a_e, \sigma_y \cdot a_0]$ 、 $Ta_2 = 0.23\sqrt{\sigma_B} \cdot A_c$ とする。

(b) 接着系アンカー

$$Ta = \min[Ta_1, Ta_2, Ta_3] \quad (\text{解1.2})$$

ただし $Ta_1 = \sigma_y \cdot a_0$ 、 $Ta_2 = 0.23\sqrt{\sigma_B} \cdot A_c$ 、 $Ta_3 = 10\sqrt{\sigma_B / 21} \cdot \pi \cdot d_a \cdot \ell_e$ とする。

ここで、

Ta : あと施工アンカーを用いた接合部（1本当たり）の引張耐力（N）

Ta_1 : 鋼材の降伏により決まる場合のアンカー1本当たりの引張耐力（N）

Ta_2 : 定着した既存コンクリート躯体のコーン状破壊により決まる場合のアンカー1本当たりの引張耐力（N）

Ta_3 : 接着系アンカーの付着性能により決まる場合のアンカー1本当たりの引張耐力（N）

$_m\sigma_y$: 金属系アンカー本体の降伏点強度（N/mm²）

a_e : 金属系アンカーの本体各部の最小断面積（mm²）

σ_y : 鉄筋の規格降伏点強度（N/mm²）

a_0 : 接合筋のネジ加工を考慮した有効断面積、又はアンカー筋の公称断面積（mm²）

σ_B : 既存部のコンクリートの圧縮強度（N/mm²）

A_c : 既存コンクリート躯体へのコーン状破壊面のアンカー1本当たりの有効水平投影面積（mm²）

d_a : アンカー軸部の直径で、接着系アンカーではアンカー筋の呼び名、金属系アンカーでは本体の直径（mm）

ℓ_e : アンカーの有効埋め込み深さ（mm）

これらの式中 $m\sigma_y$ 、 a_e 、 σ_y 、 a_0 、 d_a 及び ℓ_e については、本文 2) に規定したとおり、指定書の数値とする。なお、アンカーの有効埋め込み深さ ℓ_e はモルタル等の仕上げを含まない値であることに注意が必要である。

上記のほか、耐力算定に用いる A_c (既存コンクリート躯体へのコーン状破壊面の有効水平投影面積) の評価に当たっては、アンカーの設置状況に応じてはしあき、へりあきの他に隣接するアンカー相互の影響を考慮した耐力の低減が必要となる場合があるので注意が必要である (第 4 章参照)。

ウ) あと施工アンカーを用いた接合部のせん断耐力 Qa

金属系アンカーを用いた接合部のせん断耐力 Qa は (解 1. 3) 式又は (解 1. 4) 式により、接着系アンカーを用いた接合部のせん断耐力 Qa は (解 1. 5) 式により算定する。RC耐震改修指針やSRC耐震改修指針では、あと施工アンカーを用いた接合部のせん断耐力は、鋼材の降伏で決まるせん断強度 Qa_1 とコンクリートの支圧で決まるせん断強度 Qa_2 のうちの小さい方、かつ、 $294_s a_e$ 以下 ($5d_a \leq \ell_e < 7d_a$ の場合の金属系アンカーの場合には $245_s a_e$ 以下) としている。

(a) $5d_a \leq \ell_e < 7d_a$ の場合の金属系アンカー

$$Qa = \min[Qa_1, Qa_2, 245_s a_e] \quad (\text{解 1. 3})$$

ただし $Qa_1 = 0.7_m \sigma_y \cdot_s a_e$ 、 $Qa_2 = 0.3\sqrt{E_c \cdot \sigma_B \cdot_s a_e}$ とする。

(b) $\ell_e \geq 7d_a$ の場合の金属系アンカー

$$Qa = \min[Qa_1, Qa_2, 294_s a_e] \quad (\text{解 1. 4})$$

ただし $Qa_1 = 0.7_m \sigma_y \cdot_s a_e$ 、 $Qa_2 = 0.4\sqrt{E_c \cdot \sigma_B \cdot_s a_e}$ とする。

(c) 接着系アンカー

$$Qa = \min[Qa_1, Qa_2, 294_s a_e] \quad (\text{解 1. 5})$$

ただし $Qa_1 = 0.7\sigma_y \cdot_s a_e$ 、 $Qa_2 = 0.4\sqrt{E_c \cdot \sigma_B \cdot_s a_e}$ とする。

ここで、

Qa : あと施工アンカーを用いた接合部 (1 本当たり) のせん断耐力 (N)

Qa_1 : 鋼材の耐力で決まるアンカー 1 本当たりのせん断耐力 (N)

Qa_2 : コンクリートの支圧強度で決まるアンカー 1 本当たりのせん断耐力 (N)

$_s a_e$: 接合面におけるアンカー本体又はアンカー筋の断面積 (mm^2)

E_c : 既存部のコンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

これらの式中 $_s a_e$ 及び E_c については、指定書による。

エ) あと施工アンカーを用いた接合部の短期許容引張力 Ta_s

あと施工アンカーを用いた接合部の短期許容引張力 Ta_s は (解 1. 6) 式で算定する。耐震改修促進法や耐震診断基準、耐震改修指針に従った改修設計では、最大級の地震に対して建築物が倒壊・崩壊等しないことを目的とした検討は実施されているが、中程度の地震に対して建築物の構造耐力上主要な部分に損傷を生じないことを目的とした検討は実施されていない。そのため、構造計算に必要な式として本指針において新たに示すものである。

$$Ta_s = \begin{cases} \frac{2}{3} \cdot Ta & (Ta \text{ が } Ta_2 \text{ 又は } Ta_3 \text{ で決まる場合}) \\ Ta & (Ta \text{ が } Ta_1 \text{ で決まる場合}) \end{cases} \quad (\text{解1.6})$$

ここで、

Ta_s : イ) に規定するあと施工アンカーを用いた接合部（1本当たり）の短期許容引張力 (N)

一般に、コンクリートのような脆性材料の短期に生ずる力に対する許容応力度は、荷重除荷後に有害な残留変形が生じず剛性も低下しないことと、材料強度に対して一定の安全率（通常の場合1.5）を保有させることを条件に定められている。あと施工アンカーを用いた接合部の引張耐力がコーン状破壊や付着力で決まる場合は脆性的な破壊であるため、あと施工アンカーを用いた接合部の短期許容引張力についても脆性材料の考え方を踏襲して、（解1.6）式で規定されるように引張耐力 Ta の $2/3 (=1/1.5)$ とすることとした。ただし、（解1.1）式の金属系アンカー及び（解1.2）式の接着系アンカーとも、引張耐力 Ta が Ta_1 により決定している場合（鋼材の降伏で引張耐力が決まる場合）は必ずしも脆性的な性状を示すものではないため、鋼材の許容引張応力度の考え方に整合させ $Ta_s = Ta$ とし、良いこととした。ここで、 Ta_s は Ta を算出したあと、その破壊形式に基づいて設定した安全率を乗じて計算する数値であり、 $\min [Ta_1, 2/3 \cdot Ta_2, 2/3 \cdot Ta_3]$ とはならないことに注意が必要である。

なお、（解1.6）式において、試験により $2/3 Ta$ よりも小さな引張力で顕著な剛性低下を生じることが明らかな場合は、そのような剛性低下を生じない範囲で短期許容引張力を設定するものとする。

オ) あと施工アンカーを用いた接合部の短期許容せん断力 Qa_s

あと施工アンカーを用いた接合部の短期許容せん断力 Qa_s は（解1.7）式で算定する。あと施工アンカーを用いた接合部の短期許容せん断力についても、エ) の短期許容引張力と同じ考え方により、せん断耐力 Qa の $2/3$ とすることとした。外側改修マニュアルでは、あと施工アンカーのせん断変形を2mmに制限するためのせん断耐力として $0.7Qa$ を採用しているが、これがほぼ $2/3 Qa$ に相当するため、（解1.7）式は2mmを超えるような過大なせん断変形の防止にも有効であるといえる。

$$Qa_s = \frac{2}{3} \cdot Qa \quad (\text{解1.7})$$

ここで、

Qa_s : あと施工アンカーを用いた接合部（1本当たり）の短期許容せん断力 (N)

1. 2. 2 連続繊維

- 1) 連続繊維の許容応力度及び材料強度は、それぞれ国土交通大臣の指定する数値とする。
- 2) 連続繊維の設計用断面積その他必要な数値は、1) の指定書に示す数値とする。

【解説】

ア) 基本的な考え方

連続繊維については、製品ごとに大臣が許容応力度及び材料強度を指定することとされているので、構造計算に当たってはこれらの数値を用いる。ただし、これもあと施工アンカーと同様に、実際に広く用いられている製品に対しては、実績のある連続繊維指針等の考え方の範囲で基準法の規定を満足する数値が指定される予定であるので、第2章ではこれらの指針等の計算方法を踏襲することとした。

以下に連続繊維指針で広く用いられている設計用耐力及びそれに基づく短期許容耐力の設定の方法を示す。

なお、連続繊維で長期荷重を負担するような適用方法については、建築分野では共通の指針が存在せず施工実績も必ずしも十分ではないことから、本指針では適用対象外とした。これは、長期の引張荷重を負担している既存部材に後から連続繊維シートを貼り付けるだけでは、たわみを減じさせる効果は少なく、また、長期荷重に対応できる端部定着工法及び継手工法の詳細や、長期の使用性、安全性に関する設計法も一般的ではないためである。したがって、あと施工アンカーと同様、長期に生ずる力に対する許容応力度については本指針では規定していない。また、本指針で規定するせん断補強に用いる場合以外の工法も同様に適用対象外である。

イ) 連続繊維をせん断補強に用いる場合の引張強度

連続繊維は一般に極めて高い規格引張強度を有するため、これらの繊維で補強された鉄筋コンクリート造の独立柱がせん断破壊する時、既存のせん断補強筋のひずみと同様のひずみの状況にあると考えられる補強繊維は、その規格引張強度には達していないことが多い。そのため、連続繊維指針では、繊維補強による柱のせん断設計に当たって炭素繊維やアラミド繊維の効果を剛性が等しい鉄筋に換算して検討することとしている。本指針でも実績のあるこの考え方にに基づき補強設計を行うこととした。

連続繊維をせん断補強に用いる場合の引張強度（保有水平耐力の検討に用いる数値） f_{wf} は（解1.8）式とする。

$$f_{wf} = E_f \cdot \varepsilon_{fd} \quad (\text{解1.8})$$

ここで、

f_{wf} : 連続繊維をせん断補強に用いる場合の引張強度（保有水平耐力の検討に用いる数値）
(N/mm²)

E_f : 連続繊維のヤング係数 (N/mm²)

ε_{fd} : 連続繊維のせん断設計用有効引張ひずみで0.007とする

連続繊維をせん断補強に用いる場合の引張強度（短期に生ずる力に対する許容応力度の検討に用いる数値） f_{as} は（解1.9）式とする。

$$f_{as} = \frac{2}{3} \cdot f_{wf} \quad (\text{解1.9})$$

ここで、

f_{as} : 連続繊維をせん断補強に用いる場合の引張強度（短期に生ずる力に対する許容応力度の検討に用いる数値） (N/mm²)

これらの式中 f_{wf} 及び E_f については、本文2) に規定したとおり、指定書の数値とする。

なお、連続繊維指針では、補強繊維のせん断設計用引張強度として、（解1.8）式のようにシートの引張ひずみを0.7%（柱がせん断破壊するときのひずみ量として想定した数値）とした場合のほか、規格引張強度の2/3とした場合についても計算し、そのいずれか小さい方としている。本指針が対象とする2種類の炭素繊維及び2種類のアラミド繊維（1.4節参照）の場合のせん断設計用引張強度 f_{wf} は前者の0.7%のひずみで決まるため、本指針ではこの場合のみ想定した式を示した。

1. 3 あと施工アンカーの適用範囲

1. 3. 1 材料の種類及び規格

- 1) 本指針を適用するあと施工アンカーは、平成13年国土交通省告示第1024号に基づき国土交通大臣が許容応力度及び材料強度を指定したもので、次のいずれかに該当するものとする。
 - (1) 金属系アンカーのうち拡張部打込み型のアンカー
 - (2) 接着系アンカーのうちカプセル方式のアンカー
- 2) 金属系アンカーの本体として、引張強度は400N/mm²以上、降伏点強度は235N/mm²以上である鋼材を用いるものとする。
- 3) 金属系アンカーの接合筋及び接着系アンカーのアンカー筋は、JIS G3112に規定するSD295A、SD295B又はSD345とし、径は呼び名がD13以上D22以下とする。
- 4) 接着系アンカーに用いる接着剤は、硬化後の物性として有機系接着剤については表1.1、無機系接着剤については表1.2の数値を満足するものとする。

表1.1 有機系接着剤の硬化後の物性

項目	規格値
圧縮強さ	98.0 N/mm ² 以上
引張強さ	19.6 N/mm ² 以上
曲げ強さ	29.4 N/mm ² 以上
圧縮弾性係数	9.8×10 ² N/mm ² 以上
耐アルカリ性	質量変化率10%以内

表1.2 無機系接着剤の硬化後の物性

項目	規格値
圧縮強さ	29.4 N/mm ² 以上
曲げ強さ	4.9 N/mm ² 以上

【解説】

ア) あと施工アンカーの種類

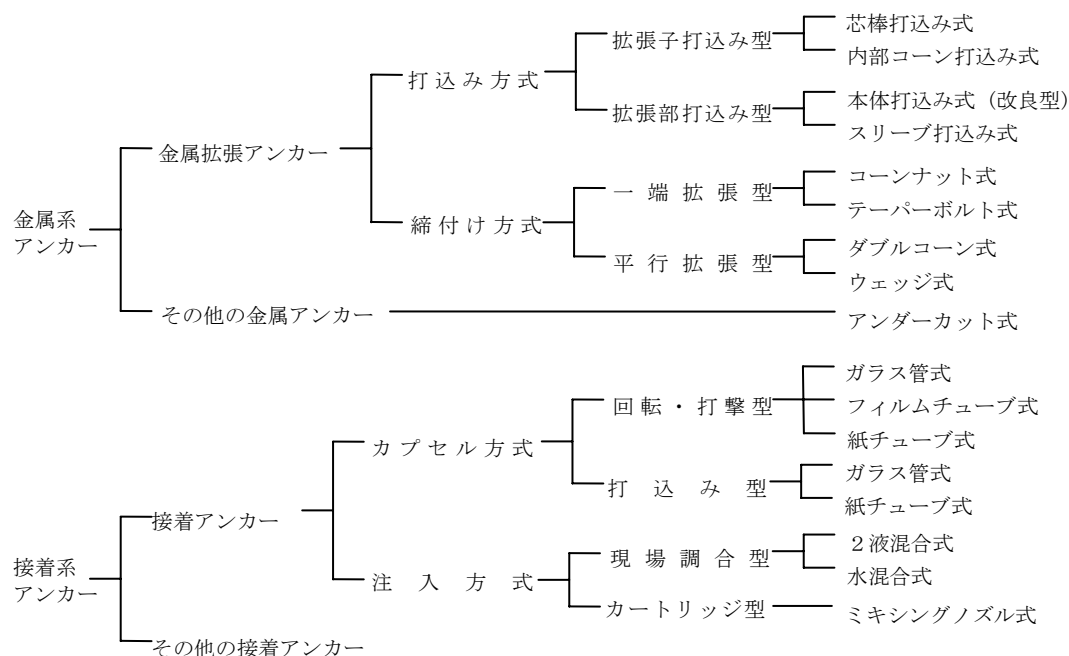
あと施工アンカーとは、アンカー本体もしくはアンカー筋の一端を既存コンクリート躯体に埋め込み、他端を耐震補強のため設置する部材に定着することで、存在応力の伝達を図るために用いられるものである。

現在市販されているあと施工アンカーは、金属系のアンカーと接着系のアンカーに大別され、それらの分類を解図1.1に示す。これらのあと施工アンカーの中には、設備機器の取り付けなど耐震補強以外に用いるものも含まれていることから、本指針では、それらのうち補強工法に適したものとして以下の2種類に限定した。

- 金属系アンカー：拡張部打込み型のアンカー
- 接着系アンカー：カプセル方式のアンカー

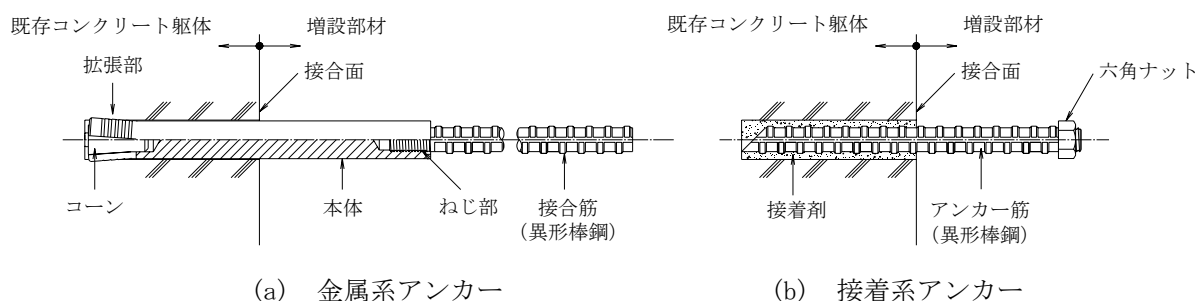
接着系アンカーについては、固着能力を確実に発揮させるため、カプセルに封入された接着剤を十分に攪拌できるよう、アンカー筋に回転・打撃を加えて施工する。カプセル方式のあと施工アンカーにはアンカー筋の打撃のみで回転を加えないものとして性能評価が行われた製品も存在するが、そのようなものの場合でも、本指針の適用の条件として現場では回転を加えて施工する必要がある。

本指針で対象となるアンカーの各部の名称を解図1.2に示す。ただし、これまで耐震改修指針で取扱いが示されていなかった無機系接着剤を用いる接着系アンカーを使用する場合にあっては、施工品質の確認のため現場での引き抜き試験を併用する等、施工要領に関する確認を事前に設計者、建築工事業者、あと施工アンカー施工関係者とで行った上で、仕様を決めることが望ましい。



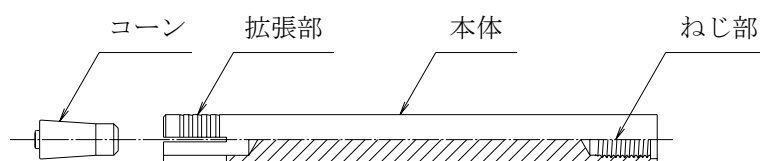
（注）（社）日本建築あと施工アンカー協会（JCAA）の分類^[2]を参考とした。

解図1.1 あと施工アンカーの分類



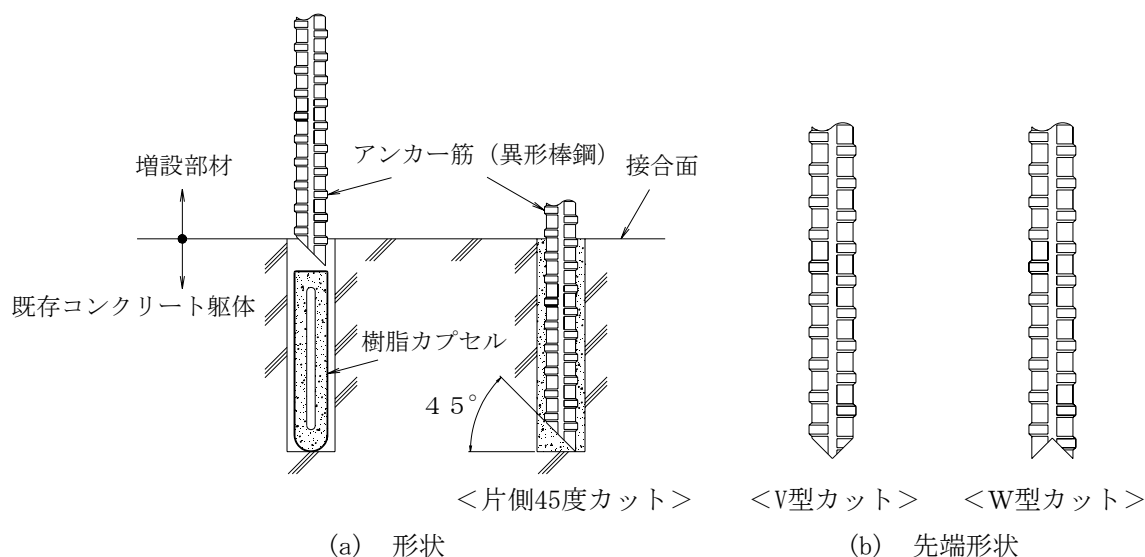
解図1.2 あと施工アンカー各部の名称

金属系アンカーの形状を解図1.3に示す。この工法では、既存コンクリートに穿孔を行い、その部分に打設したアンカー本体の拡張部の抵抗機構によりコンクリートに固着する。引張力に対する抵抗は、主に先端部に作用する支圧力によって生じる摩擦力に依存する。



解図1.3 金属系アンカーの形状（改良型本体打込み式）

接着系アンカーの形状を解図1.4に示す。この工法では、樹脂カプセルをコンクリート孔に挿填し、アンカー筋を回転と打撃によって埋込み、コンクリート穿孔面とアンカー筋を接着剤により一体に固着させる。アンカー筋の先端部は、通常、解図1.4(a)に示すように、片側斜め45度にカットされている。これは、カプセル内の樹脂の主剤と硬化剤の混合効率を良くするためである。解図1.4(b)に示すように、先端部の形状として片側斜め45度カットのほかに、V型カットとW型カットがある。



解図1.4 接着系アンカーの形状

イ) 金属系アンカーの関連規格

本文2)では、金属系アンカー本体の材料の強度について規定している。本指針を適用するに当たっては、使用する材料の規格又は指定書を参照し、本体の引張強度として400N/mm²以上、降伏点強度として235N/mm²以上であることが保証されたアンカーを用いることとする。現在耐震補強工事で広く用いられている金属系アンカー本体に用いる主な金属材料のJIS規格の概要を解表1.1に示す。あと施工アンカー本体に降伏点や引張強さの規定された材料が用いられている場合には、当該規格の数値を参照することができるが、JIS G3123（みがき棒鋼）やJIS G3507（冷間圧造用炭素鋼線材）など規格降伏点等の力学的性質が規定されていない材料を用いる場合には、適用範囲であることを確認する必要がある。このような場合の品質保証の仕組みとして、(社)日本建築あと施工アンカー協会では製品認証制度の中で品質性能試験（セット試験）を実施し、その結果からアンカー本体の引張強度等が示されており、参考にできる。なお、補強性能の観点からは、なるべく剛性の高い材料を用いることが望ましい。

本指針では金属系アンカーと組み合わせて用いる接合筋についても規定しており、適用範囲内の材料を用いるものとする。

解表1.1 金属系アンカー本体に用いる金属材料のJIS規格の概要

番号	一般名称	種類の記号	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	適用範囲
----	------	-------	-----------------------------	------------------------------	-----------	------

G3101	一般構造用 圧延鋼材	SS400 SS490 SS540他	215以上 ～ 400以上	400 ～ 540以上	24以上 ～ 13以上	建築、橋、船舶、車両その他の 構造物に用いる一般構造 用圧延鋼材
G3123	みがき棒鋼	SGD290-D SGD400-D	規定なし	340 ～ 850	規定なし	機械構造用及び各種部品に 用いる炭素鋼及び合金鋼の みがき棒鋼
G3445	機械構造用 炭素鋼鋼管	STKM11A STKM12A, 12B, 12C STKM20A他	175以上 ～ 480以上	290以上 ～ 650以上	35以上 ～ 7以上	機械、自動車、自転車、家具 器具、その他の機械部品に用 いる機械構造用炭素鋼鋼材
G3507	冷間圧造用 炭素鋼線材	SWRCH8R SWRCH10R SWRCH12R	規定なし	390以上 ～ 590以上	45以上	主として冷間圧造加工によ る部品に用いられる炭素鋼 線
G4804	硫黄及び硫 黄複合快削 鋼鋼材	SUM22 SUM23他	規定なし	規定なし	規定なし	特に被削性を向上させるた めに炭素鋼に硫黄を添加し て作られた快削鋼鋼材

ウ) 接着系アンカーの関連規格

接着系アンカーは、硬化物の物性によりアンカーの性能が大きく左右される。このため、主剤と硬化剤を混合し硬化した状態の物性に関する規定を設けた。これらの規格値の測定は、解表1.2のJIS規格の試験法による。有機系接着剤の試験としては、圧縮強さ、引張強さ、曲げ強さ及び圧縮弾性係数の測定に加えて、コンクリートがアルカリ性を示すことから耐アルカリ性試験を行う。無機系接着剤の試験は、圧縮強さ及び引張強さを測定する。なお、カプセル方式で試験体をカプセル硬化物とする場合は、主剤、硬化剤とガラス管、骨材（ただし、細かく砕いた物）を混合し硬化させて作る。

現在頒布されている資料には廃止された旧JIS規格番号で示されているものも多い。そこで、解表1.2では関連するJIS規格の改正等の経過もまとめて示した。

接着系アンカーのアンカー筋は、金属系アンカーと同様に、適用範囲内であるものを用いるものとする。

解表1.2 接着剤の品質試験におけるJIS規格の改正等の経過

試験の種類	JIS規格	経過	内容
圧縮強さ	JIS K6911-1995 (熱硬化性プラスチック一般試験方法)	1995年改正	関連箇所の変更なし
	JIS K7181-1994 (プラスチック-圧縮特性の試験方法)	1994年制定	JIS K7208-1995と同一 内容
	JIS K7208-1995 (プラスチックの圧縮試験方法)	1995年見直し 1999年廃止	変更なし
引張強さ	JIS K6911-1995 (熱硬化性プラスチック一般試験方法)	1995年改正	関連箇所の変更なし
	JIS K7113-1995 (プラスチック引張試験方法)	1995年見直し	変更なし
曲げ強さ	JIS K6911-1995 (熱硬化性プラスチック一般試験方法)	1995年改正	関連箇所の変更なし
	JIS K7171-1994 (プラスチック-曲げ特性の試験方法)	1994年制定	JIS K7203-1995と同一 内容

	JIS K7203-1995 (硬質プラスチックの曲げ試験方法)	1995年見直し 1999年廃止	変更なし
圧縮弾性係数	JIS K7181-1994 (プラスチック-圧縮特性の試験方法)	1994年制定	JIS K7208-1995と同一内容
	JIS K7208-1995 (プラスチックの圧縮試験方法)	1995年見直し 1999年廃止	変更なし
耐アルカリ性	JIS K6919-1992 (繊維強化プラスチック用液状不飽和ポリエステル樹脂)	1995年見直し	変更なし

1. 3. 2 あと施工アンカーの品質

あと施工アンカーは、指定書に定める条件又は関連する指針等に基づき、適切に施工され所要の安定した性能が発揮されるものとする。

【解説】

あと施工アンカーは、既存の躯体と一体となって所要の強度が安定して発揮される必要があるため、従来から耐震改修においては、施工品質を確保する目的で（社）日本建築あと施工アンカー協会の製品認証を取得したもののうち、特に耐震改修に用途を限定したものが用いられている。

本指針の対象となるあと施工アンカーに関しても、実用上は上記の製品認証を取得したものが対象となると考えられるが、この製品認証に当たっては、アンカー単体の強度以外に施工時の品質の確保等に係る項目が審査されているので、使用の際にはそれらの条件についても準拠し、あるいは指定書の記載に従う必要がある。あと施工アンカーの製品認証における代表的な品質基準について、解表1.3及び解表1.4にまとめた。より詳細に整理されたものが上記の製品認証制度において用いられているので参照されたい。製品によっては耐熱性、疲労に関する試験が実施されており、補強の部位に応じた材料の選定の参考とすることができる。ただし、これらの表中の母材の設計基準強度に関しては、実際の施工部分で評価するコンクリート強度 σ_b とし、1.1節本文及び解説に示したように、18 N/mm²以上（金属系アンカーについては、かつ36 N/mm²以下）としてよい。

解表1.3 金属系アンカーの品質基準の例

項目	試験内容	規格値	試験方法
強度	引張試験	素材の規格降伏点又は耐力及び引張強さ以上	JIS Z2241
ねじ等級	限界ゲージにて確認	おねじの場合：8gもしくは3級 めねじの場合：7Hもしくは3級	JIS B0205
表面処理	めっき厚さ測定	規格値以上	JIS H8501
引張試験	設計基準強度 18 N/mm ² 以上36 N/mm ² 以下	引張耐力が規定の計算値以上で95%以上の信頼性を有する	—
引張剛性	設計基準強度 18 N/mm ² 以上36 N/mm ² 以下	変位量0.3mm、1.0mm時に耐力が規定の計算値以上である	—
せん断耐力	設計基準強度 18 N/mm ² 以上36 N/mm ² 以下	せん断耐力が規定の計算値以上で95%以上の信頼性を有する	—
せん断剛性	設計基準強度 18 N/mm ² 以上36 N/mm ² 以下	変位量5mm時に耐力が規定の計算値以上である	—

解表1.4 接着系アンカーの品質基準の例

項目	試験内容	規格値	試験方法
寸法・許容差	各寸法の規定	外径:10mm≦外径<20mm時±0.7mm以内 内容量許容差10%以下	—
強度	引張試験	付着強度が規定の計算値以上で95%以上の信頼性を有する	JCAAセット試験法
有機系接着剤の硬化後の物性	圧縮強さ	98.0 N/mm ² 以上	JIS K7208
	引張強さ	19.6 N/mm ² 以上	JIS K7113
	曲げ強さ	29.4 N/mm ² 以上	JIS K7203
	圧縮弾性係数	9.8×10 ² N/mm ² 以上	JIS K7208
	耐アルカリ性	質量変化率10%以内	JIS K6919
ねじ等級	限界ゲージにて確認	おねじの場合:8gもしくは3級 めねじの場合:7Hもしくは3級	JIS B0205
引張試験	設計基準強度 18 N/mm ² 以上36 N/mm ² 以下	引張耐力が規定の計算値以上で95%以上の信頼性を有する	—
引張剛性	設計基準強度 18 N/mm ² 以上36 N/mm ² 以下	変位量0.3mm、1.0mm時に耐力が規定の計算値以上である	—
せん断耐力	設計基準強度 18 N/mm ² 以上36 N/mm ² 以下	せん断耐力が規定の計算値以上で95%以上の信頼性を有する	—
せん断剛性	設計基準強度 18 N/mm ² 以上36 N/mm ² 以下	変位量5mm時に耐力が規定の計算値以上である	—

1. 4 連続繊維等の適用範囲

1. 4. 1 材料の種類及び規格

1) 本指針を適用する連続繊維は、平成13年国土交通省告示第1024号に基づき国土交通大臣が許容応力度及び材料強度を指定したもののうち、次のいずれかに該当するものとする。

- (1) 炭素繊維
- (2) アラミド繊維

2) 連続繊維によって構成されるシート（連続繊維シート）は表1.3に示す規格を満足するものを用いる。

表1.3 連続繊維シートの規格

規定項目	炭素繊維		アラミド繊維	
	3400N/mm ² 級	2900 N/mm ² 級	アラミド1	アラミド2
繊維の種類	PAN系高強度品		単重合系	共重合系
シートの形状	一方向強化タイプ		一方向強化タイプ	
目付量	300g/m ² 以下		623g/m ² 以下	525g/m ² 以下

3) 連続繊維シートは、表1.4に規定する数値を満足するよう、指定書に示されたエポキシ樹脂系の含浸接着樹脂と組み合わせて用いる。また、施工に当たっては下記のプライマー等を用いる。

- ・エポキシ樹脂系のプライマー
- ・エポキシ樹脂系及びセメント系の下地調整材
- ・エポキシ樹脂系及びセメント系の断面修復材

表1.4 連続繊維シートに含浸接着樹脂を含浸させて硬化した状態（連続繊維補強材）における規格

規定項目	炭素繊維		アラミド繊維	
	3400 N/mm ² 級	2900 N/mm ² 級	アラミド1	アラミド2
規格引張強度	3400 N/mm ²	2900 N/mm ²	2060 N/mm ²	2350 N/mm ²
規格ヤング係数	230 kN/mm ²		118 kN/mm ²	78 kN/mm ²

【解説】

ア) 使用できる材料

本指針の対象は連続繊維指針及び改修監理指針とともに詳細に記述されている施工方法や材料に限ることとした。具体的には炭素繊維シート又はアラミド繊維シートをエポキシ樹脂含浸接着剤と組み合わせる施工方法であり、これに用いる材料を規定の対象とした。連続繊維シート及び含浸接着樹脂は構造強度を発揮するための材料であり、その他の材料は施工品質を確保するための材料である。

連続繊維はシート状に加工された製品（連続繊維シート）として用いられ、含浸接着樹脂を含浸させて硬化した状態（連続繊維補強材）として施工されるため、繊維単体でなくシート及び補強材それぞれに対して適用範囲を規定した。これらは連続繊維指針において規定されているものと単位系は異なるが同じ数値である。

なお、応力計算に用いる表1.4の数値については、含浸接着樹脂の寄与を考慮しないことに注意が必要である。すなわち、連続繊維シートの断面積等の算出に当たっては、連続繊維のみの数値を用いる。これは、連続繊維補強材については、連続繊維シートの使用量を明確にできるのに対し、現場にて含浸する含浸接着樹脂の量は正確に管理できず、応力計算には使用し難いためである。

イ) 材料の組み合わせ

指定書では連続繊維シートと組み合わせるエポキシ系含浸接着樹脂についても記載されるので、施工条件等に応じて適切なものを使用する。また、プライマー等の組み合わせによっては所定の性能が発揮できない場合があるので注意する。例えば、エポキシ樹脂系含浸接着樹脂とメタクリル樹脂系プライマーとの組み合わせは不可である。

1. 4. 2 連続繊維シート等の品質

連続繊維その他の材料は、指定書に定める条件の他連続繊維指針に基づき、適切に施工され所要の安定した性能が発揮されるものとする。

【解説】

本指針では品質基準について、特に指定書に記載のない場合は連続繊維指針を参照することとした。解表1.5及び解表1.6に、連続繊維指針から本指針の対象となる連続繊維シートと含浸接着樹脂の品質基準を抜粋して示す。

解表1.5 連続繊維シートの品質基準

分類	炭素繊維		アラミド繊維	
	3400 N/mm ² 級	2900 N/mm ² 級	アラミド1	アラミド2
繊維の種類	PAN系高強度品		単独重合系	共重合系
引張強度 N/mm ²	3400以上	2900以上	2060以上	2350以上
ヤング係数 kN/mm ²	230－15又は＋45		118±20	78±15
目付量g/m ²	表示値以上			

繊維の密度g/cm ³	1.80±0.05	1.45±0.05	1.39±0.05
------------------------	-----------	-----------	-----------

解表1.6 エポキシ樹脂系含浸接着樹脂の品質基準

試験項目	単位	試験条件	規格値		試験方法
			一般用	冬用	
外観	—	—	異常がないこと		JIS K6833
硬化物比重	—	23℃ 7日	表示項目		JIS K7112
可使時間	分	5又は23℃	表示項目		温度上昇法
粘度	Pa・s	5又は23℃	表示項目		JIS K7117
初期硬化性	N/mm ²	5又は23℃	表示項目		JIS A6024
引張強さ	N/mm ²	23℃ 7日	30以上		JIS K7113
曲げ強さ	N/mm ²	23℃ 7日	40以上		JIS K7202*
圧縮強さ	N/mm ²	23℃ 7日	70以上		JIS K7208*
圧縮ヤング係数	N/mm ²	23℃ 7日	1500以上		JIS K7208*
引張せん断強さ	N/mm ²	23℃ 7日	10以上		JIS K6850
低温時の曲げ接着強さ	N/mm ²	5℃ 14日	—	3以上	JIS A6024
加熱変化	質量	%	—	5以下	JIS A6024
	体積	%	—	5以下	JIS A6024

*…JIS K7202及びK7208については、それぞれJIS K7171及びK7181として改正されているが、実績が少なく、表中では旧規格による数値を示した。なお、実際の連続繊維製品については、製品ごとに品質基準等として示される規格によるので、必要に応じ指定書の記載を確認する。

1. 5 その他の留意点

1. 5. 1 防火規定に関する事項

本指針で対象とする材料及び工法により行った耐震補強部分に関しては、既存部分が令第107条を満たす構造となっていれば、原則として、耐火関係規定に適合しているとみなしてよい。

【解説】

本指針に基づいて既存建築物を耐震補強する場合については、補強等による荷重増加を加味しても、既存の構造部分のみで長期荷重を支持できる、すなわち荷重増を加味した固定荷重＋積載荷重に対して補強前の架構に生ずる応力度が各部分の長期に生ずる力に対する許容応力度を超えないことが前提となっている。したがって、当該建築物が耐火建築物等の性能を要求される場合にあっては、既存部分が令第107条（耐火性能に関する技術的基準）を満たす構造となっていれば、解図1.5に示すように補強による増設部分は耐火関係規定の適用対象とはならない。

ただし、この場合にあっては以下の3点に注意を要す。

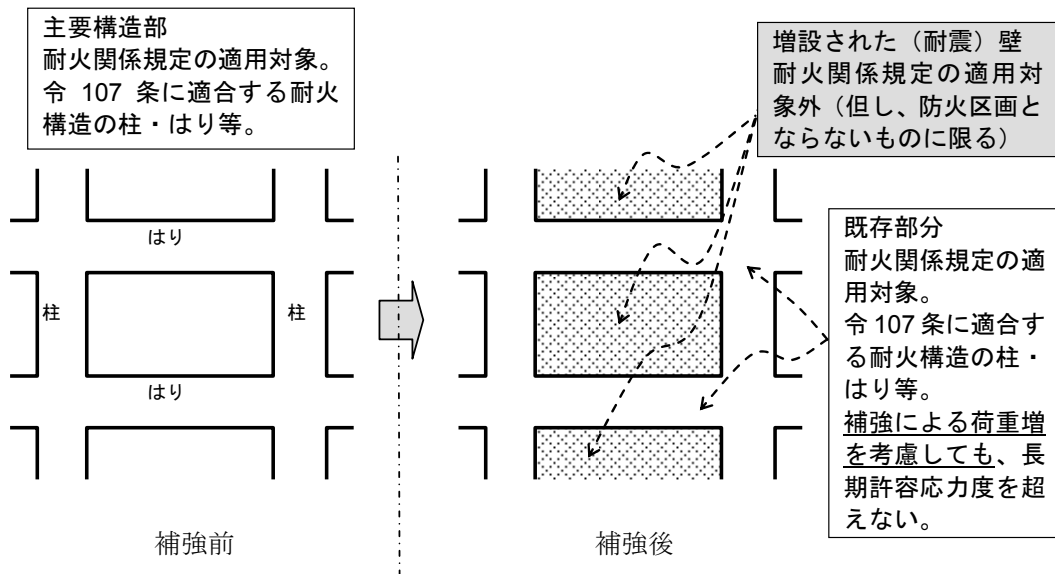
- a) 耐震補強のため壁が新設され、かつ、その壁が防火区画（令第112条）を構成する場合は、新設された壁についても耐火構造とすることが必要となるため、耐火関係規定の適用対象となり、そのため本指針の適用範囲外となる。
- b) 建築物の用途・規模によっては、居室及び居室から地上に通ずる主たる廊下、階段その他の通路の壁及び天井の屋内に面する部分の内装仕上げを不燃材料等とすることが要求される（令第129条）。補強部分がこれらに該当する場合は、内装制限に関する規定に適合しなければならない。

い。

- c) 樹脂等が火災の火熱により熔融し、補強部分が剥落する等によって避難・消防活動に支障を来すことのないように適切な措置を施すことが望ましい。

また、当該建築物が準耐火建築物等の性能を要求される場合についても同様である。

なお、主要構造部が令第108条の3に規定される技術的基準に適合するとして性能検証された耐火建築物の場合は、再度、補強後の建築物の実況に応じて性能検証する必要がある。特に、コンクリート強度、鉄筋に対するコンクリートのかぶり厚さ、配筋、荷重増等を実況に応じて適切に評価する必要がある。



解図1.5 耐震補強前後の防火規定（耐火関係規定）の適用

1. 5. 2 材料のシックハウス対策に関する事項

本指針で対象とする材料及び工法により行った耐震補強部分に関しても、その居室の内装の仕上げについては、シックハウス対策に関する規定に適合しなければならない。

【解説】

本指針で対象とする連続繊維補強による補強工事においては、含浸接着樹脂やプライマーを使用し、さらに補強繊維の上に仕上げを施すことも少なくない。これらが、令第20条の5（化学物質の発散に対する衛生上の措置に関する技術的基準）及び平成14年国土交通省告示第1113号～第1115号に規定する建築材料に該当する場合は、これらの規定に適合した使用方法をとらなければならない。また、上記の規定にかかわらず、使用するいずれの建材についても、化学物質の放散量ができるだけ少ないものを選択するべきである。ただし、現状でよく用いられている含浸接着樹脂やプライマーについては、ホルムアルデヒド放散量F☆☆☆☆を満足しているものが多い。

参考文献（第1章）

- [1] 国土交通省住宅局建築指導課等 編：2001年版建築物の構造関係技術基準解説書、2001.3
- [2] （社）日本建築あと施工アンカー協会：あと施工アンカー技術資料、2005.5
- [3] 細川洋治、青山博之、小谷俊介、石原益夫：耐震補強金属系アンカーの引抜き抵抗機構、コンク

リート工学年次講演会(10回)、1988、pp. 63-68

- [4] 岡田恒男、田中礼治、松崎育弘、坂本功、河村壮一：あと施工アンカー設計と施工、技術書院、1990
- [5] 広沢雅也、松崎育弘編：あと施工アンカー設計・施工読本、建築技術、1991
- [6] 村山水浜、本間博行、中野克彦、松崎育弘：接着系あと施工アンカーの付着特性に関する実験研究－へりあき寸法が付着特性に及ぼす影響－、日本建築学会大会学術講演梗概集、C2、2000. 9、pp. 645-646
- [7] 細川洋治：あと施工アンカーの強度と剛性に関する基礎的研究、学位論文、1992、pp. 3-45-3-56
- [8] 勝俣英雄、加藤大介、青山博之：既存鉄筋コンクリート造建築物の補強法に関する実験的研究、第29回構造工学シンポジウム、1983. 3
- [9] （社）日本建築あと施工アンカー協会：「あと施工アンカー製品認証制度」Ⅰ．品質・性能に関する評価認証審査基準(案)、Ⅱ．評価認証審査基準の付属書（案）、平成18年2月15日

第2章 設計指針

2. 1 総則

- 1) 本設計指針は、既存鉄筋コンクリート造建物を対象に、第1章に示した材料及び工法を用いて耐震補強を行う場合の部材あるいは架構のせん断補強設計の原則を示すもので、補強後の建築物の構造耐力上主要な部分について令第3章第8節第1款の2に規定する許容応力度等計算によって保有水平耐力の確認までを行う場合に適用するものとする。
- 2) 構造計算に用いる既存躯体のコンクリートの材料強度及び許容応力度は、原則として当初の設計図書に記載された設計基準強度又は1.1節に示すコアコンクリートの圧縮強度 σ_B のうち、いずれか小さい値に基づいて設定する。

【解説】

本指針の対象である耐震補強設計は、既存の建築物に新たに構造要素を追加することにより、建築物全体の耐震性能の向上を図ることを目的としたものであり、補強部位の設計のみならず、耐震補強計画後の剛性や強度の平面的及び立面的分布とこれが建物全体に与える影響を考慮して慎重に設計されることが重要である。そこで本指針では、一次設計における許容応力度設計に加えて、二次設計における保有水平耐力の確認まで行ういわゆるルート3の構造計算による場合にのみ本指針を適用することとした。なお、部材の設置により荷重が増加する場合は、この影響についても適切に検討するものとする。

補強部分を含めた構造躯体の計算に用いるコンクリートの設計基準強度 F_c については、原設計の構造計算図書における設計基準強度 F_{c0} 又は1.1節に規定する補強対象部分のコアコンクリート強度の実測に基づく σ_B のうちいずれか小さい値とすることを原則としている。これらの他、耐力評価に採用するコンクリート強度の考え方や上限値の設定等については耐震診断基準を準用することができるが、耐震診断基準における材料強度の適用範囲を考慮して、補強部分及び構造躯体それぞれについて30 N/mm²を超えない範囲とすることが望ましい。

2. 2 あと施工アンカー

2. 2. 1 一次設計

地震力を受ける耐震壁の許容水平せん断力 Q_A は、鉄筋コンクリート増設壁にあつては(2.1)式の値を、枠付き鉄骨ブレースにあつては(2.7)式の値を、それぞれ用いる。

(a) 鉄筋コンクリート増設壁

$$Q_A = \max[Q_1, Q_2] \quad (2.1)$$

ただし $Q_1 = \min[\gamma \cdot t \cdot \ell \cdot f_s, \Sigma Q_{a_s}]$ 、 $Q_2 = \min[\gamma(Q_W + \Sigma Q_C), \gamma(\Sigma T a_s + \Sigma Q_C)]$ とする。

ここで、

γ ：次の(2.2)式によって計算した開口に対する低減率

$$\gamma = \min \left[1 - \frac{\ell_o}{\ell}, 1 - \sqrt{\frac{h_o \cdot \ell_o}{h \cdot \ell}} \right] \quad (\text{適用範囲: } \sqrt{\frac{h_o \cdot \ell_o}{h \cdot \ell}} \leq 0.4) \quad (2.2)$$

Q_W ：次の(2.3)式によって計算した無開口壁板の壁筋が負担できる短期許容水平せん断力(N)

$$Q_W = p_s \cdot t \cdot \ell' \cdot f_t \quad (\text{ただし } p_s \leq 0.012) \quad (2.3)$$

Q_c : 次の (2.4) 式によって計算した壁板周辺の柱 (1 本) が負担できる短期許容水平せん断力 (N)

$$Q_c = b \cdot j \cdot \{1.5f_s + 0.5w_f(p_w - 0.002)\} \quad (\text{ただし } p_w \leq 0.012) \quad (2.4)$$

ΣQa_s 、 ΣTa_s : それぞれ次の (2.5) 式又は (2.6) 式によって計算したあと施工アンカーの短期許容せん断力の総和及び短期許容引張力の総和 (N)

$$\Sigma Qa_s = n \cdot Qa_s \quad (2.5)$$

$$\Sigma Ta_s = n \cdot Ta_s \quad (2.6)$$

Qa_s : 1.2.1項オ) に従って計算したあと施工アンカーを用いた接合部 (1 本あたり) の短期許容せん断力 (N)

Ta_s : 1.2.1項エ) に従って計算したあと施工アンカーを用いた接合部 (1 本あたり) の短期許容引張力 (N)

n : 水平接合部 1 箇所 (箇所) に打設されるあと施工アンカーの本数で、開口等により壁板の上下の梁のいずれかにおいて一部アンカーが打設できない場合はこれを減じた本数とする。

t : 壁板の厚さ (mm)

ℓ : 壁板周辺の柱中心間距離 (mm)

h : 壁板周辺の梁中心間距離 (mm)

ℓ_o : 開口部の長さ (mm)

h_o : 開口部の高さ (mm)

ℓ' : 壁板の内法長さ (mm)

p_s : 壁板の直交する各方向のせん断補強筋比のうち小さい方の値

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

f_t : 壁筋のせん断補強用短期許容引張応力度 (N/mm²)

w_f : 柱帯筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

b : 柱幅 (mm)

j : 応力中心間距離 (mm) で、 $\frac{7}{8}d$ (d は柱の有効せい) としてよい

p_w : 柱のせん断補強筋比

(b) 枠付き鉄骨ブレース

$$Q_A = Q_B + \Sigma Q_c \quad (2.7)$$

ただし $Q_B = \min[2N_c \cos \theta, \Sigma Qa_s, \Sigma qa_s]$ とする。

ここで、

N_c : 次の式によって計算した圧縮側ブレースの短期許容圧縮力 (N)

$$N_c = f_c \cdot A_B \quad (2.8)$$

f_c : 短期に生ずる力に対する圧縮材の座屈の許容応力度で、平成13年国土交通省告示第1024号第1第三号に規定する数値 (N/mm²)

A_B : ブレース材の断面積 (mm²)

θ : ブレース材が水平面となす角度 (rad)

ΣQa_s : (2.5) 式の ΣQa_s (N)

Σqa_s : スタッドボルトの短期許容せん断力の総和 (N)

$$Q_c : (2.4) \text{ 式の } Q_c \text{ (N)}$$

【解説】

ア) 鉄筋コンクリート増設壁の考え方

鉄筋コンクリート増設壁の許容水平せん断力 Q_A は、学会RC規準（1999版）の第19条に準じ、第1章に示すあと施工アンカー等を用いた接合部の許容耐力を考慮して算定することとした。すなわち、

- ・壁板のせん断ひび割れ発生時水平せん断力と接合面でのひび割れ発生時相当の水平せん断力の比較により決定される Q_1
- ・せん断ひび割れ発生後の壁補強筋による許容水平せん断力とアンカー筋による許容水平せん断力の比較により決定される Q_2

のうち、いずれか大きい方の値を Q_A とすることとした。

イ) 枠付き鉄骨ブレースの考え方

枠付き鉄骨ブレースについては、そのブレースの配置がそれぞれの架構内で左右対称となることを想定し、(2.7)式を用いて Q_B を算出している。したがって、これに該当しない場合は、個々の斜材ごとに θ を設定した上で、圧縮材又は引張材の許容耐力を計算し、これらを足し合わせる必要がある。また、ブレースの許容水平せん断力及び接合面でのひび割れ発生時相当のせん断力の比較により決定されるせん断力に基づき Q_A を算定することとした。

なお、枠付き鉄骨ブレースを間接接合により既存躯体と接合する場合、あと施工アンカーとともに鉄骨枠に溶接された頭付きスタッドが用いられる。頭付きスタッドのせん断耐力は、RC耐震改修指針やSRC耐震改修指針では（解2.1）式で算定することとされている。

$$q_{ds} = 0.64\sigma_{\max} \cdot a_s \quad (\text{解2.1})$$

ここで、

q_{ds} : スタッド1本当たりのせん断耐力 (N)

σ_{\max} : スタッドの引張強度で、400以下の値 (N/mm²)

a_s : スタッドの断面積 (mm²)

あと施工アンカーでの考え方に従って、スタッドの短期許容せん断耐力 q_{as} を（解2.2）式で算定するものとする。

$$q_{as} = \frac{2}{3} \cdot q_{ds} \quad (\text{解2.2})$$

ここで、

q_{as} : スタッド1本当たりの許容せん断耐力 (N)

2. 2. 2 二次設計

保有水平耐力算定用の部材耐力はRC耐震改修設計指針及びSRC耐震改修設計指針に準じて算定する。また部材の靱性ランクは、鉄筋コンクリート増設壁にあっては負担せん断力と破壊形式に応じて、枠付き鉄骨ブレースにあっては設計されたブレース材の有効細長比と基準強度に応じて適切に設定する。

【解説】

部材耐力の算定は、耐震改修指針に準じて行う。その際、部材に曲げ降伏型の破壊形式を想定する

場合は、あと施工アンカーに引張力とせん断力が同時に作用することを耐力算定時に考慮するなど、適切に耐力評価するものとする。

保有水平耐力の算定に当たって、鉄筋コンクリート増設壁及び枠付き鉄骨ブレースの耐力壁としての靱性ランクは、特に詳細な検討を行わない場合は、「建築物の構造関係技術基準解説書」^[8]に規定するWDランク相当とする。ただしアンカー又はスタッドによる接合部での破壊が先行しないことを確かめた場合（かつ、鉄筋コンクリート増設壁にあってはせん断破壊をするおそれがないことを確かめた場合）は、WCランク相当と考えて良い。なお、WBランクあるいはWAランク相当とする場合は、前記に加えて地震時の繰り返し外力作用時においてもそれぞれ必要な靱性が確保できることを確かめるものとする。

2. 2. 3 構造細則

1) 既存躯体への有効埋込み長さ ℓ_e は、あと施工アンカーの種類及びアンカー軸部の直径 d_a に応じて下記の数値とする。

(a) 接着系アンカー： $12d_a$ 以上（mm）

(b) 金属系アンカー： $5d_a$ 以上（mm）

ただし、金属系アンカーは、梁下面には使用しないようにする。

2) 鉄筋コンクリート増設壁内への有効定着長さは、アンカーの種類に応じて下記の数値とする。

(a) 接着系アンカー（アンカー筋）： $20d_a$ 以上（mm）（ただし、ナット付き異形棒鋼とする。）

(b) 金属系アンカー（接合筋）： $30d_a$ 以上（mm）（ただし、頭部にフック又はナット付きの場合には、 $20d_a$ 以上とする。）

また、金属系アンカーでは、アンカー本体の既存躯体面よりの突出長さ ℓ_2 は $5d_a$ 以上とする。

3) 共通事項

(a) あと施工アンカーの径、ピッチ及び配置方法

i) アンカー軸部の直径 d_a ：13mm以上、22mm以下

ii) ピッチ p_a ： $7.5d_a$ 以上、かつ300mm以下

iii) ゲージ g_a ：ダブル配置の場合 $5.5d_a$ 以上、千鳥配置の場合 $4d_a$ 以上

iv) へりあき c_1 ： $2.5d_a$ 以上

v) はしあき c_2 ： $5d_a$ 以上

(b) あと施工アンカーの埋込み位置等

i) あと施工アンカーは、鉄筋コンクリート増設壁又は枠付き鉄骨ブレースが接合されるすべての柱、梁に埋め込むことを原則とする。

ii) 柱に埋込むあと施工アンカーの種類及び間隔は、梁と同等以上とする。

iii) あと施工アンカーは、所定のへりあきを確保できるよう、原則として既存柱、梁のせん断補強筋で囲まれた内側になるよう、梁芯及び柱芯に打設するものとする。

iv) あと施工アンカーは各設置箇所等で等間隔、等量に配置し、その設置に先立ち既存躯体に目荒らしを行う。

(c) あと施工アンカー周辺部の割裂防止

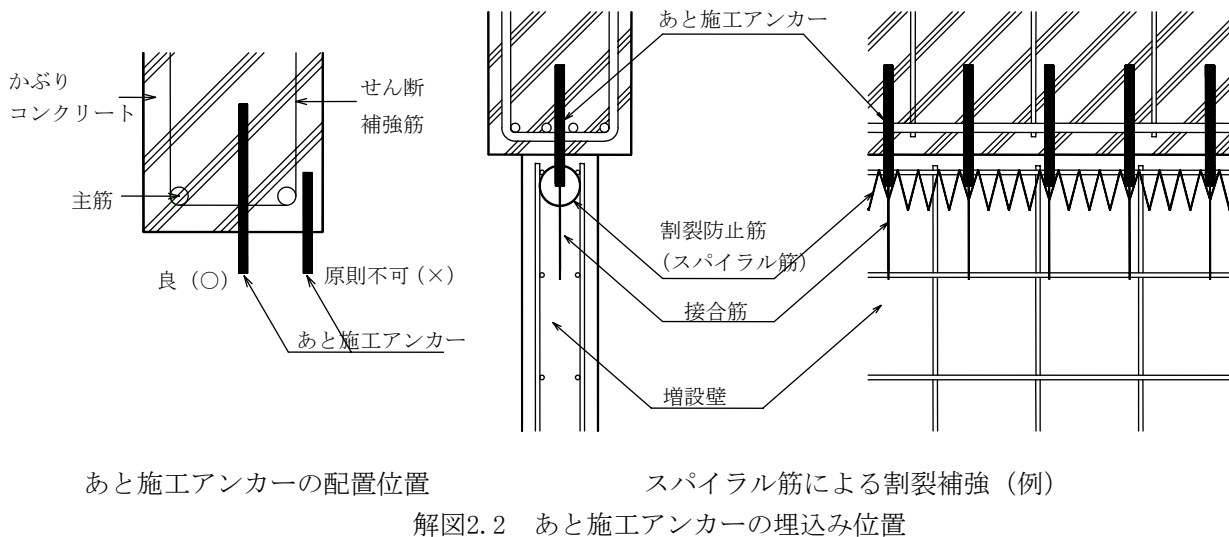
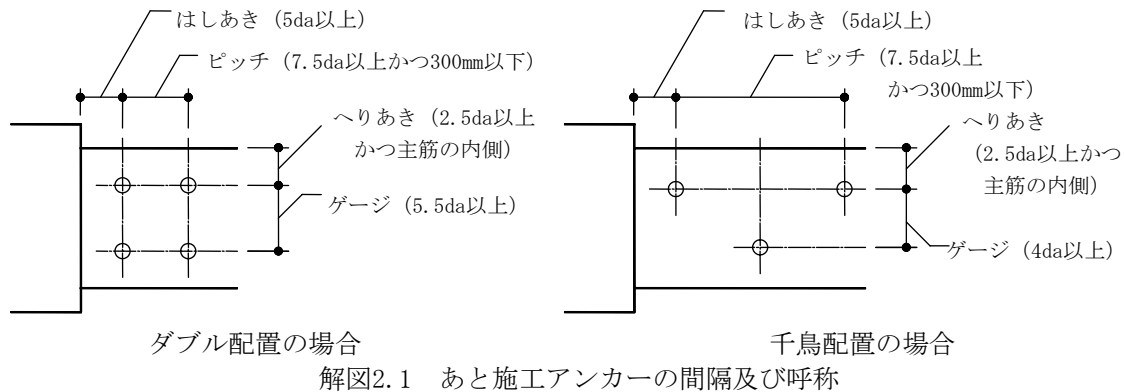
鉄筋コンクリート増設壁又は枠付き鉄骨ブレースの施工に当たっては、既存躯体コンクリートとの接合部に配置されたアンカー本体又はアンカー筋と壁筋との周辺部分に割裂防止筋を配する。

【解説】

既存躯体への有効埋込み長さ ℓ_e (ℓ_e の算定は指定書に記載された方法による)は、接着系アンカーでは $12d_a$ 以上、金属系アンカーでは $5d_a$ 以上とする。これは、鉄筋コンクリート増設壁や枠付き鉄骨ブレースの耐力壁としての終局曲げ強度に対して壁の縦筋の引張降伏耐力を期待する場合、打設されたアンカーのへりあき等を考慮した上で、これらの鉄筋の引張降伏耐力を保証するためのものである。改修指針ではそれぞれ $7d_a$ 以上、 $4d_a$ 以上とされているが、これらのいずれとも異なる数値であるので注意する必要がある。さらに、連層耐力壁による補強とした場合の壁脚など降伏後の繰返し挙動を期待する場合には、コーン破壊及び付着破壊が先行しないよう埋込み深さを深くし、例えば接着系アンカーでは埋込み深さを $15d_a$ 以上とする等の配慮が必要である。

なお、接着系アンカーについて、カプセル長さ(通常の場合 $7d_a$ 程度)を超える有効埋込み深さが必要となる場合には、カプセルを複数本使用することで対応する。

アンカーの配置については、解図2.1及び解図2.2を参考に適切に計画する。



2. 3 炭素繊維及びアラミド繊維

2. 3. 1 一次設計

- 1) 補強された柱の断面及び部材の剛性は原則として補強前と変わらないものとして、通常の方法により建築物の応力解析を行う。
- 2) 補強された柱の部材許容応力の算定は、次による。

(a) 短期許容曲げモーメント：連続繊維シートによる補強効果はないものとして、通常の方法により算定する。

(b) 短期許容せん断力：連続繊維シートによる補強効果を考慮した次の(2.9)式により算定する。

$$Q_A = b \cdot j \{ f_s + 0.5_{ws} f_t ({}_e p_w - 0.002) \} \quad (2.9)$$

ここで、

Q_A ：補強された柱の短期許容せん断力 (N)

b ：柱の幅 (mm)

j ：柱の応力中心間距離 (mm) で、 $\frac{7}{8}d$ (d は柱の有効せい) としてよい

${}_e p_w$ ：次の(2.10)式によって計算した、連続繊維シートによる補強効果を考慮した柱の有効なせん断補強筋比 (ただし、 ${}_e p_w > 0.012$ のときは、 ${}_e p_w = 0.012$ とする。)

$${}_e p_w = p_{ws} + p_{wf} \cdot \frac{E_f}{E_s} \quad (2.10)$$

p_{ws} ：次の(2.11)式によって計算した既存帯筋のせん断補強筋比

$$p_{ws} = \frac{a_{ws}}{b \cdot x_s} \quad (2.11)$$

a_{ws} ：一組の帯筋の断面積 (mm²)

x_s ：帯筋間隔 (mm)

p_{wf} ：次の(2.12)式によって計算した連続繊維シートのせん断補強筋比 (換算)

$$p_{wf} = \frac{2t_{wf}}{b} \quad (2.12)$$

t_{wf} ：連続繊維シートの厚さ (mm)

f_s ：コンクリートの許容せん断応力度 (N/mm²)

$_{ws} f_t$ ：帯筋のせん断補強用許容引張応力度 (N/mm²)

E_s ：帯筋のヤング係数 (N/mm²)

E_f ：連続繊維シートのヤング係数 (N/mm²)

【解説】

一般に連続繊維シートで部材補強する場合は、補強前と比べて柱部材の断面寸法はほとんど変化がないので、柱の剛性は補強前と同一であると見なすことができる。したがって、一次設計で実施される建築物の応力解析では柱の剛性は補強前と同一の値を用いればよい。ただし、補強前後で柱寸法が異なる場合は剛性を精算しなければならない。

柱の短期許容曲げモーメントに影響を与える因子は主筋の配筋・コンクリート断面・軸力であり、せん断補強筋は短期許容曲げモーメントに影響を与えない。したがって、短期許容曲げモーメントは補強前と変わらないものとした。ただし、部材の剛性と同様に、補強前後で柱寸法が異なる場合は許容曲げモーメントも精算しなければならない。

柱の短期許容せん断力に対しては連続繊維シートの補強効果を考慮するが、補強された柱部材の短期許容せん断力はコンクリート又は鉄筋の許容応力度で決まることに注意が必要である。この指針で対象とする炭素繊維及びアラミド繊維に関しては以下に述べる短期に生ずる力に対する許容応力度設計において想定するひずみ量における応力は規格引張強度の15%～30%程度であり、通常は連続繊維シートについて指定される短期に生ずる力に対する許容応力度に達することはない。

本指針ではせん断ひび割れ発生に伴う柱の材軸直交方向のひずみに応じて既存の帯筋のひずみと連続繊維シートのひずみが発生し、これら3種のひずみが同一であると考えことにする。せん断ひび割れが開かないように、既存の帯筋と連続繊維シートによって材軸直交方向の拘束応力度 σ_{Lateral} が生じているが、上記の材軸直交方向のひずみ $\varepsilon_{\text{Lateral}}$ の適合を仮定すると、以下のように評価できる。

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Lateral}} &= \text{既存の帯筋の寄与} + \text{連続繊維シートの寄与} \\ &= p_{ws} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{\text{Lateral}} + p_{wf} \cdot E_f \cdot \varepsilon_{\text{Lateral}}\end{aligned}$$

注) 記号は本文参照

ここで、鉄筋の応力度が短期に生ずる力に対する許容応力度 $_{ws}f_t$ に達しているとすれば、

$$_{ws}f_t = E_s \cdot \varepsilon_{\text{Lateral}}$$

であるので、 σ_{Lateral} は以下のように表すことができる。この () 内の数値が (2.10) 式で用いた柱の有効なせん断補強筋比 $_ep_w$ である。

$$\sigma_{\text{Lateral}} = _{ws}f_t(p_{ws} + p_{wf} \cdot E_f / E_s)$$

柱部材の短期許容せん断力の算定式としては学会RC規準（1999版）の第15条3項の式（下記参照）を用いることが一般的であるので、(2.3) 式ではこれを準用して連続繊維シートの補強効果を加味した短期許容せん断力 Q_A を算定する。

$$Q_A = b \cdot j \{ f_s + 0.5 _{ws}f_t(p_w - 0.002) \}$$

ここで、 p_w : 帯筋比。ただし、 $p_w > 0.012$ のときは、 $p_w = 0.012$ とする。

$_wf_t$: 帯筋のせん断補強用引張強度

その他の記号は本文と同様

本指針の式中で用いる t_{wf} 及び E_f については、指定書に記載された数値を用いる。また、本節では連続繊維の応力度の検定を行わないことになるので、連続繊維の応力度が短期に生ずる力に対する許容応力度に到達していないことを確認する。

なお、コンクリートが先行して許容応力度に達する場合もあるが、過去の通常の鉄筋コンクリート構造の柱に関する実績を考慮すれば、補強設計においてもコンクリートが先行して許容応力度に達する場合を特に考える必要はない。

2. 3. 2 二次設計

- 1) 保有水平耐力時の部材の負担せん断力は通常の方法によって求める。
- 2) 補強した部材の耐力はRC耐震改修指針に準拠して以下のように評価する。
 - (a) 曲げ耐力：連続繊維シートによる補強効果はないものとして算定する。
 - (b) せん断耐力：連続繊維による補強効果を考慮した下式で定める。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_t^{0.23} (18 + F_c)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{ws} \cdot \sigma_{wy} + p_{wf} \cdot \sigma_{wf}} + 0.1 \sigma_0 \right\} b \cdot j \quad (2.13)$$

ただし、

$M / (Q \cdot d)$ が1以下の場合これを1とし、3以上の場合3とする。

$p_{ws} \cdot \sigma_{wy} + p_{wf} \cdot \sigma_{wf}$ が9.8 N/mm²以上の場合9.8 N/mm²とする。

σ_0 が7.8 N/mm²以上の場合7.8 N/mm²とする。

ここで、

p_t : 引張鉄筋比 (%)

p_{ws} : (2.11)式から求めた既存帯筋のせん断補強筋比

p_{wf} : (2.12)式から求めた連続繊維シートのせん断補強筋比

σ_{wy} : 既存帯筋の降伏点強度 (N/mm²)

σ_{wf} : 連続繊維シートのせん断設計用引張強度 (N/mm²) で、1.2節で規定した連続繊維シートの材料強度とする。

M/Q : せん断スパン (mm) で、一般に柱の内法高さの1/2としてよい。

b : 柱幅 (mm)

D : 柱せい (mm)

d : 柱の有効せい (mm)

j : 応力中心間距離 (mm) で、 $0.8D$ としてよい。

F_c : コンクリート圧縮強度 (N/mm²)

σ_0 : 軸方向圧縮応力度 (N/mm²)

2) 部材の靱性ランクについては、次による。

崩壊機構形成時のせん断力・曲げモーメントと部材耐力を比較して柱の破壊モードを決定する。このとき部材の靱性ランクは、負担せん断力と破壊形式に応じて設定する。

【解説】

建築物の保有水平耐力の算定については、通常の方法に従う。例えば、手計算レベルの手法であれば、RC耐震診断基準及びSRC耐震診断基準の三次診断の方法を参考にしてフレーム部分は節点振り分けで、耐力壁部分は仮想仕事法で解くことができる。又はコンピュータを利用した増分解析によることも可能である。このとき、補強した部材の耐力はRC耐震改修指針又はSRC耐震改修指針に準拠して評価する。

一次設計と同様に、曲げ耐力に関しては連続繊維シートによる補強効果がないものとして算定し、せん断耐力に関しては連続繊維シートによる補強効果があるものとして (2.4) 式によって算定する。この式は連続繊維指針で示された式をRC耐震改修指針において修正したもので、本指針においては一次設計との整合を考えて、記号等を修正した。 p_{ws} 及び p_{wf} の定義は許容せん断力の式と同様であるが、 j の定義は異なることに注意が必要である。

柱の破壊モードの決定は通常の方法に従えばよく、崩壊機構形成時のせん断力・曲げモーメントと部材耐力を比較して定める。例えば、崩壊機構形成時のせん断力と比べて

○せん断耐力が小さい → せん断破壊

○柱頭・柱脚曲げ降伏時せん断力が小さい → 曲げ破壊

と定めることができる。この比較に際しては、梁等の鉄筋の基準強度の上昇や45度 (斜め) 入力を考慮した作用せん断力の割り増しなどに配慮する必要がある。

保有水平耐力の検討に当たり、連続繊維シートで補強した柱部材の靱性ランクは「建築物の構造関係技術基準解説書」^[8]のDs判定規準 (p. 269～271) に従って設定する。炭素繊維シートやアラミド繊維シートで補強した場合の部材ランクについて十分な検証がなされているわけではないので、特に FA・FBランクとして扱う場合は、相当する性能を発揮できるか慎重に検討する必要がある。

2. 3. 3 構造細則

- 1) 連続繊維シートをたるませずに、繊維方向が材軸に対してほぼ直角方向となるように閉鎖型に連続して巻き付ける。
- 2) 連続繊維シートの重ね長さは母材破断を確保できる長さとする。
- 3) 連続繊維シートは含浸接着樹脂によって一体硬化させ、既存コンクリート面に接着させる。既存柱面の仕上げ材は除去することを原則とする。
- 4) 柱の隅角部は連続繊維シートの規格引張強度を下回る強度で破断しないようR面取りをする。また、連続繊維シートに局部的に大きい応力集中や直接せん断力が作用しないようにする。
- 5) 連続繊維シートの補強量 $p_{wf} \cdot \sigma_{wf}$ は $0.04Fc$ 以上かつ 0.8N/mm^2 以上とする。ここで、 Fc は既存柱のコンクリート圧縮強度である。

【解説】

構造細則は連続繊維指針と同様である。下記を含む詳細な解説は連続繊維指針や改修監理指針を参照されたい。以下、簡単に解説する。

ア) 閉鎖型補強

連続繊維シートは閉鎖型補強になるようにすることが大原則である。また、材軸方向についても連続繊維シートで囲っていない部分がないようにすることも必要である。

やむを得ず、連続的な補強が途切れる箇所については、周囲又は近傍を適切に補強するなどの対策が必要になる。例えば、仕上げ材固定のためのアンカーボルトやコンセントボックスの周辺はこれらの局所補強の対象となる。このような部分について連続繊維指針を参考にして適切に補強するものとする。

一方、袖壁などが取り付く柱では、柱面の近くの壁板に貫通孔を空けて別の繊維材料や金物を通し、一般部の連続繊維シートとつなげて閉鎖型補強を実現することがある。このような大規模な補強については本指針の対象外とする。

イ) 重ね継手長さ（ラップ長さ）

この指針で扱う範囲の連続繊維や含浸接着樹脂では、母材破断を確保できる重ね継手長さは100mm程度である。しかし、連続繊維指針等では、通常は余裕を見て、重ね継手長さを200mmとしている。なお、連続繊維指針では、アラミド繊維シートの一部でラップ長さを300mmとしている。

ウ) 仕上げ材の除去

耐震補強では仕上げ材を除去することが原則である。ただし、連続繊維指針や改修監理指針では仕上げ材を除去せずに施工できる条件も示している。

エ) 隅角部などのR面取り

連続繊維シートの耐震補強実験では柱の隅角部でしばしば破断することが知られている。柱の隅角部の連続繊維シートに応力集中が生じるためと考えられている。一般にR面をつけると応力集中が緩和することが経験的に知られており、規定したものである。具体的なR半径は繊維の種類によって異なり、連続繊維指針では、アラミド繊維シートで10mm、炭素繊維シートで20mmとされている。

オ) 最小補強量

連続繊維指針では、実大実験が少ないこと、補強量が少ない場合の実験資料が少ないことを理由に最小補強量を設定しており、この指針でも踏襲することとした。

カ) その他の制限

せん断スパン比が小さな極短柱の実験はあまり多くない。せん断スパン比が1.0の実験はある程度見受けられるが、これを下回る場合については実験データがほとんど見当たらない。従って、せん断スパン比が0.5といった場合に連続繊維シートによる補強を適用する場合は、十分に安全を見込んだ設計とすることが必要となる。

柱の断面寸法をモルタル・コンクリートで大きくし、その上から連続繊維シートを巻き付けて補強することも考えられる。この場合、柱の曲げ終局強度が増加するため、柱の終局時せん断力が増大して連続繊維シートが負担すべきせん断力も増えることに配慮する必要がある。

参考文献（第2章）

- [1] (社)日本建築あと施工アンカー協会：あと施工アンカー技術資料(改訂版)、2005. 5
- [2] 細川洋治、青山博之、小谷俊介、石原益夫：耐震補強金属系アンカーの引抜き抵抗機構、コンクリート工学年次講演会(10回)、1988、pp. 63-68
- [3] 岡田恒男、田中礼治、松崎育弘、坂本功、河村壮一：あと施工アンカー設計と施工、技術書院、1990
- [4] 広沢雅也、松崎育弘編：あと施工アンカー設計・施工読本、建築技術、1991
- [5] 村山水浜、本間博行、中野克彦、松崎育弘：接着系あと施工アンカーの付着特性に関する実験研究－へりあき寸法が付着特性に及ぼす影響－、日本建築学会大会学術講演梗概集、C2、2000. 9、pp. 645-646
- [6] 細川洋治：あと施工アンカーの強度と剛性に関する基礎的研究、学位論文、1992、pp. 3-45-3-56
- [7] 勝俣英雄、加藤大介、青山博之：既存鉄筋コンクリート造建築物の補強法に関する実験的研究、第29回構造工学シンポジウム、1983. 3
- [8] 国土交通省住宅局建築指導課等 編：2001年版 建築物の構造関係技術基準解説書、工学図書、2001. 3

第3章 施工指針

3. 1 あと施工アンカー

3. 1. 1 総則

- 1) あと施工アンカーの種類及び形状等については、1.3節による。
- 2) あと施工アンカーの施工に当たっては、施工資格を有するなど製品について十分な知識を持ち、訓練された施工管理者と施工技能者が実施する。
- 3) あと施工アンカーの施工者は、設計図書等に基づき、所定の施工品質が確保されるように、品質管理項目を定め、適切な施工計画や配員計画を立て、施工計画書を作成する。この施工計画書に対応して、工事方法を具体的に定めた施工要領書を作成する。
- 4) あと施工アンカーの施工は、施工計画書及び施工要領書に従って行う。

【解説】

あと施工アンカー工事に用いる金属系アンカー、接着系アンカーの種類及び形状等については、1.3節によることとし、品質、性能について十分確認された製品を使用するほか、原則として耐震改修指針、改修標仕及び改修監理指針などの関連規定に準拠するものとする。

あと施工アンカーは、施工条件により性能が十分に発揮されない場合がある。例えば既存コンクリートの強度が低い場合やジャンカなどの欠陥がある場合には、所要の強度を発揮できないことがある。このように、あと施工アンカーの施工品質は施工者の技術力に依存する割合が高い。そのため、使用環境、既存コンクリートの状態、コンクリートの穿孔方法、回転・打撃方法など、アンカーの施工条件が性能に及ぼす影響などについて、あと施工アンカーについて十分な知識を持ち、かつ、あと施工アンカーの施工に係わる種々の問題に対して適切な判断能力を有する技術者が工事を担当しなければならない。あと施工アンカー工事の管理組織体制の例を解図3.1に示す。全体工事請負業者が設置する管理者には、アンカー工事を適正に実施するための施工計画及び施工図の作成、工程管理、品質管理、安全管理等の施工管理を確実にを行うために必要な技術的能力が求められる。また、あと施工アンカーの施工者には、アンカー施工に当たってのコンクリートに対する判断、決められた施工計画により、アンカーを適切かつ確実に施工できる技術的能力が求められる。

(社)日本建築あと施工アンカー協会(JCAA)¹⁾では、あと施工アンカー工事における技術者及び施工士の資格制度を設けており、これらの資格を活用するとよい。

あと施工アンカーの資格制度には、次のようなものがある。

- 1) 第2種あと施工アンカー施工士：決められた施工計画により、ねじ径12mm以下のあと施工アンカー工事を適切に施工できる技能的能力を有するものをいう。
- 2) 第1種あと施工アンカー施工士：決められた施工計画により、あと施工アンカー工事を適切に施工できる技能的能力を有するものをいい、母材コンクリートに対する判断ができる能力を有する。
- 3) あと施工アンカー技術管理士：工事現場におけるあと施工アンカー工事を適切に実施するため、工事の施工計画及び施工図の作成、工程管理、品質管理、安全管理等工事の施工管理を的確に行うために必要な技術的能力を有する者をいう。
- 4) あと施工アンカー主任技士：「第1種あと施工アンカー施工士」と「あと施工アンカー技術管理士」の両資格の技術的能力を有し、申請により「あと施工アンカー主任技士」の資格を与えられた者

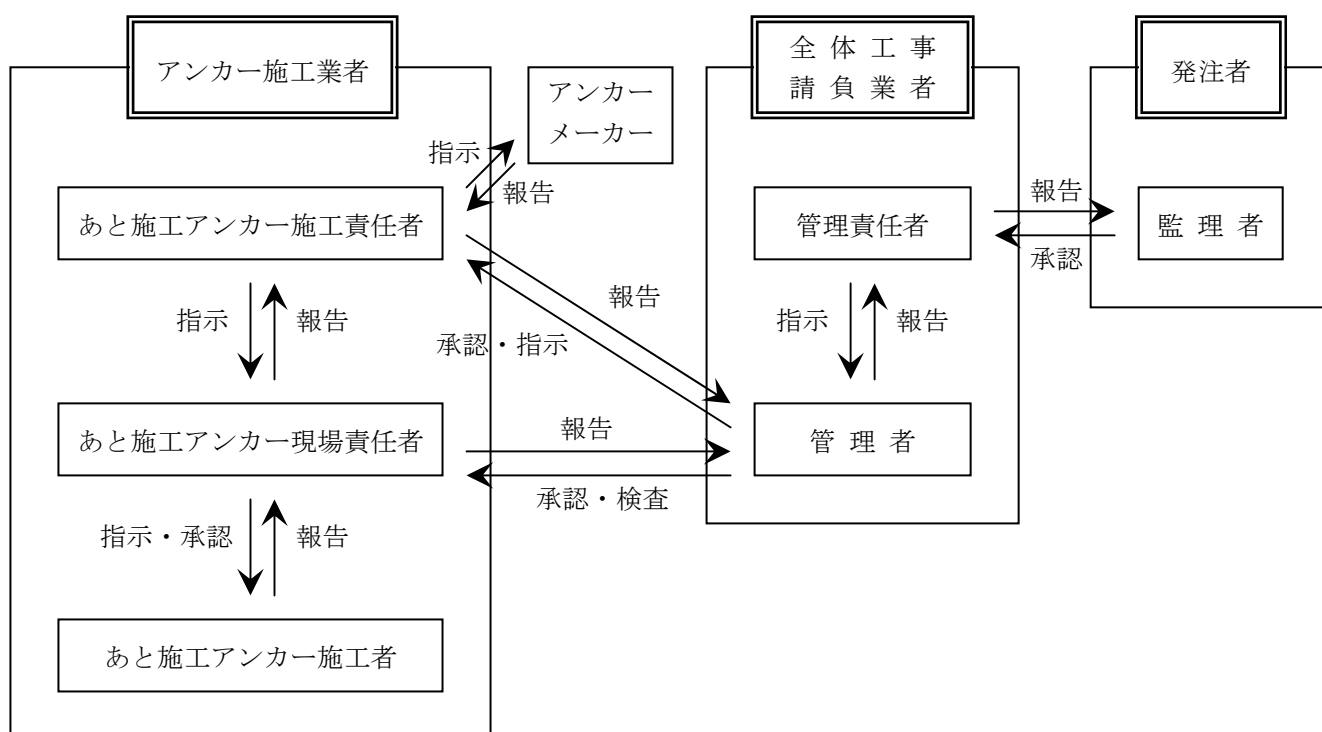
¹⁾ (社)日本建築あと施工アンカー協会 (<http://www.anchor-jcaa.or.jp/>)

をいう。

あと施工アンカーの施工者は、まず、設計図書等に基づき、所定の施工品質が確保されるように、作業工程ごとに品質管理項目を定め、適切な施工計画や配員計画を立て、施工計画書を作成する。次に、この施工計画書に対応して、アンカー指針などを参照し、工事方法を具体的に定めた施工要領書を作成する。

あと施工アンカーの施工は、施工計画書及び施工要領書に従って確実に行うものとする。また、施工にあたっては、安全衛生上の必要な対策を講ずるとともに、工事現場の周辺への騒音、粉塵などに対して十分に配慮する。

あと施工アンカーを施工する場合、鉄筋や埋込み金物類の障害、有害なひび割れ、ジャンカなどが問題となることがある。このような施工現場で生じる諸問題の解決は、あと施工アンカーの品質確保に大変重要であり、設計者、監理者、管理責任者が協議の上、あと施工アンカーの施工者に対して的確な指示を行わなければならない。



解図3.1 あと施工アンカー工事の管理組織体制の例

3. 1. 2 施工方法

- 1) あと施工アンカーの施工方法の詳細は、耐震改修指針、改修標仕及び改修監理指針などの関連規定に準拠する。
- 2) あと施工アンカーの施工に当たっては、施工要領書の手順に従い、定められた事項を遵守する。
- 3) あと施工アンカーの施工面に、モルタルなどの既存の仕上げ材がある場合には、取り除く。
- 4) 穿孔は、躯体コンクリートに割裂などが生じないように十分注意して実施する。
- 5) あと施工アンカーの固着は、使用するあと施工アンカーの施工要領書に基づいて実施する。

【解説】

あと施工アンカーの施工方法の詳細は、耐震改修指針、改修標仕及び改修監理指針の関連規定に準拠する。また、あと施工アンカーの施工に当たっては、施工計画書及び施工要領書に従い、所定の施

工品質を確保しなければならない。

あと施工アンカーは、鉄筋や埋込み金物類を避けて施工する必要がある。埋設鉄筋等の確認は次による。

- ・鉄筋探知器により確認する。
- ・鉄筋探知器で確認できない場合は、はつりを行い、埋設の鉄筋、金物類の位置を確認する。

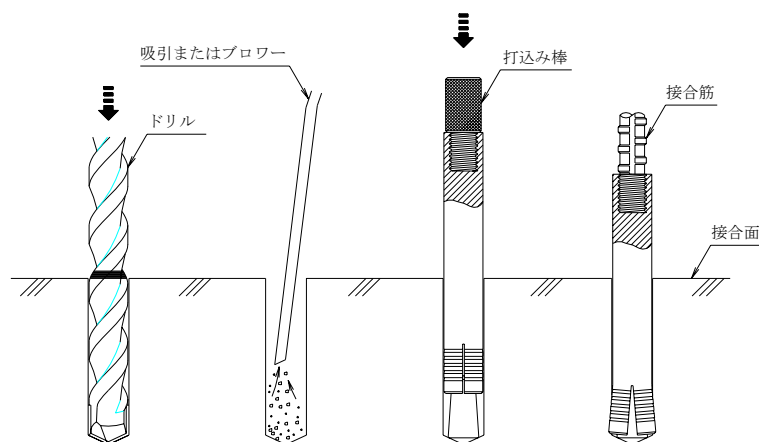
あと施工アンカーの施工面に、タイルやモルタル等の既存の仕上げ材がある場合には、取り除くものとする。また、仕上げ材が撤去された躯体コンクリートの施工面は、粗面となるように、原則として、はつり出し、又は深さ5mmから10mm程度の目荒しを施すこととする。

あと施工アンカーの施工位置にジャンカ等がある場合には、十分に調査・検討を行い、適切な対処方法を選定しなければならない。ジャンカ等への具体的な対処方法は、改修標仕の規定によるほか、モルタル等を用いてかぶり部分の補修を兼ねる場合にあっては、平成13年国土交通省告示第1372号（建築基準法施行令第79条第1項の規定を適用しない鉄筋コンクリート造の部材及び同令第79条の3第1項の規定を適用しない鉄骨鉄筋コンクリート造の部材の構造方法を定める件）に適合するものとする必要がある。

施工者は、使用するアンカーに規定されている埋込み深さを確認するものとする。あと施工アンカーの施工面は、はつり出しや目荒らしを行うため、規定の穿孔深さを確保するためには、はつり出しや目荒らしの底面を基準として穿孔する。規定の穿孔深さを確保するため、ドリルに穿孔深さを示すマーキングを施す。設計では、有効埋込み深さで示すことが一般的であり、有効埋込み深さで穿孔すると、必要な埋込み深さよりも浅くなるので十分に注意する。

穿孔作業では、躯体コンクリートに割裂等が生じないように十分注意する。穿孔は、施工面に対して直角とし、鉄筋等に当たった場合は、穿孔を中止し、付近の位置に再穿孔を行うことを原則とする。このほか、誤った穿孔を行った場合の修正処理などについても事前に施工要領書に記載して手順等を確認しておくことが望ましい。穿孔時に生じる切粉は、金属系アンカーでは先端部の拡張を妨げ、接着系アンカーでは付着力を低下させるので、念入りに清掃する。

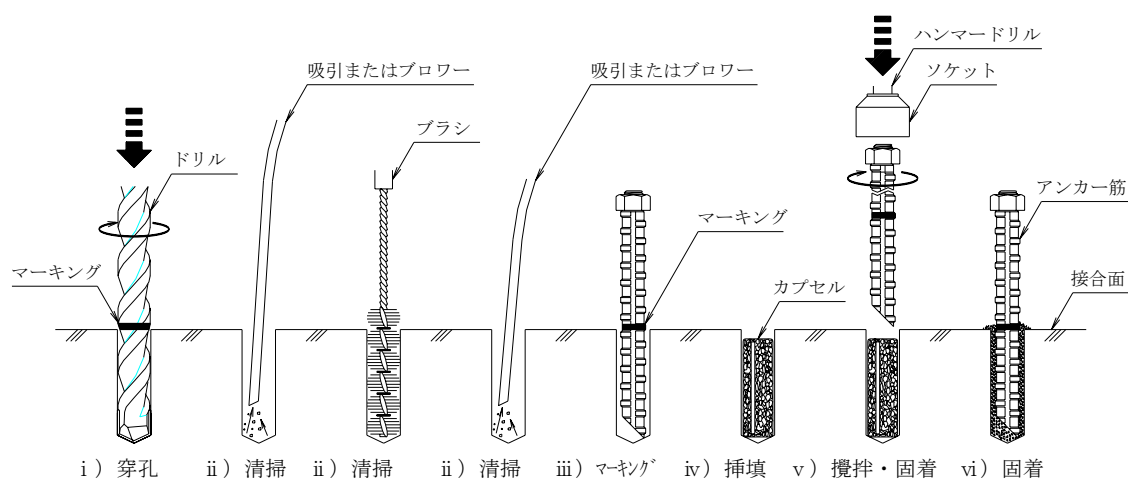
改修標仕より、金属系アンカーの施工手順及び確認事項を解表3.1及び解図3.2に示す。また、同様に接着系アンカー施工手順及び確認事項を解表3.2及び解図3.3に示す。



i) 穿孔 ii) 清掃 iii) 打込み iv) 接合筋取付け
解図3.2 金属拡張アンカーの施工手順（改修標仕 図8.11.2）

解表3.1 金属系アンカーの施工手順と確認事項（改修標仕 表8.11.6に追記）

施工手順	確認事項
①墨出し（指示書による） ↓	⇒ 墨出し・へりあき・はしあき位置を確認する。
②準備 ↓	⇒ 作業工具・アンカー・アンカー筋等を作業前に確認する。
③コンクリートドリルの選定 ↓	⇒ 定められた径のドリルを選定する。
④ドリルへの穿孔深さのマーキング⇒	⇒ 規定の孔深さを確保する。
↓	
⑤コンクリートの穿孔 ↓	⇒ コンクリート面に対して直角に穿孔する。
⑥孔内清掃及び穿孔深さの確認 ↓	⇒ 切粉が孔底に残らないように清掃する。
⑦アンカー挿入 ↓	⇒ ねじの損傷及び構成部品のセット状態を確認する。
⑧アンカーの打込み又は締付け ⇒	⇒ 拡張の終了を確認する。
↓	
⑨機器等の取付け ⇒	⇒ トルクレンチ等を用いてナット・ボルト等を所定のトルク値まで締め付ける。



解表3.2 接着系アンカーの施工手順と確認事項（改修標仕 表8.11.8に追記）

施工手順	確認事項
①墨出し（指示書による） ↓	⇒ 墨出し・へりあき・はしあき位置を確認する。
②準備 ↓	⇒ 作業工具・アンカー等の準備と確認を行う。 また、使用するカプセルを作業前に確認する。
③コンクリートドリルの選定 ↓	⇒ 定められた径のドリルを選定する。
④ドリルへの穿孔深さのマーキング⇒	⇒ 所定の孔深さを確保するためのマーキングを行う。
↓	
⑤コンクリートの穿孔 ↓	⇒ コンクリート面に対して直角に穿孔する。

⑥孔内清掃及び 穿孔深さの確認	1. 吸塵 ↓ 2. 穿孔深さ の確認 ↓ 3. ブラシがけ ↓ 4. 吸塵	⇒ ⇒ ⇒ ⇒	穿孔後、孔中の切粉を吸塵する。 穿孔深さを確認する。 専用ブラシを用いて、孔壁面から切粉を掻き落とす。 再び孔中の切粉を吸塵する。
⑦マーキング ↓ ↓ ↓ ↓ ↓		⇒	孔深さに合わせ、アンカー筋等にマーキングを行う。
⑧カプセル挿入 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓		⇒	カプセル内容物の流動性の確認等により、使用可否を確認した後、孔内に挿入する。 カプセルが水漬けが必要なものについては、所定時間の水漬け作業を行う。
⑨アンカー筋の埋込み ↓ ↓ ↓ ↓		⇒	アンカー筋に回転・打撃を与えながら、一定の速度でアンカー筋のマーキング位置まで埋め込む。 過剰攪拌をしないこと。
⑩硬化養生 ↓ ↓ ↓ ↓		⇒	所定の硬化時間内はアンカー筋等を動かさない。
⑪ナットを取り外し ↓ ↓ ↓		⇒	硬化養生後、回転・打撃型の場合は、必要に応じてアンカー筋のナット等を取り外す。
⑫機器等の取付け		⇒	ねじ締付けの場合は、所定のトルク値で締め付ける。

接着系アンカーの場合には、アンカー筋を埋込み後、接着剤が硬化するまではアンカー筋に触れないように養生しなければならない。特に、上向き施工の場合には、アンカー筋が抜け出してくる場合もあるので、くさび等を打って脱落防止を施して養生することが必要である。

接着系アンカーの養生時間は、原則として24時間とする。24時間以内にアンカー筋に力を加える必要が生じる場合は、メーカーの仕様書などを確認する必要がある。また、無機セメント系の場合は、練上がり後の温度が5℃以上となるようにする等、適切な養生が求められる。

製品の保管に当たっては、品質の低下が起らないような環境下で保管しなければならない。金属拡張アンカーやアンカー筋では、製品の運搬や貯蔵に当たって、ねじ山などを傷めないようにし、塵ほこり、油等の付着を防ぐ。また、接着系アンカーに用いる硬化剤を封入したカプセルは、熱、光等に十分配慮して冷暗所に保管することが求められる。特に、夏場では炎天下に放置しないようにしなければならない。

3. 1. 3 品質管理

- 1) あと施工アンカーの施工に当たっては、作業工程ごとに品質管理項目及び検査項目を定め、施工管理体制を確立して品質管理を確実に行う。
- 2) あと施工アンカーの品質管理項目ごとに、判定基準・管理方法・管理時期等の具体的な施工管理内容を定める。
- 3) あと施工アンカーを施工する既存コンクリートの圧縮強度及びあと施工アンカーの素材強度を試験成績書などにより確認する。

4) 埋め込まれたあと施工アンカーの固着強度を検査し、あと施工アンカーが正しく施工されていることを確認する。

【解説】

あと施工アンカーの施工に当たっては、解表3.3、解表3.4に示すように作業工程ごとに品質管理項目及び検査項目を定め、品質管理を確実に行うものとする。また、解表3.5に示すように品質管理項目ごとに、判定基準・管理方法・管理時期等の具体的な施工管理内容を定める。

既存コンクリートの圧縮強度は、本指針の適用に当たってコアコンクリートの強度試験などにより、あと施工アンカーの施工前に確認されている。あと施工アンカーの施工に当たっては、強度試験成績書などにより、既存コンクリートが所要の強度を満足していることを確認することとする。また、あと施工アンカーを施工する部位について、コンクリートの強度試験などを新規に実施する場合には、設計者、監理者、管理責任者の指示によるものとする。

あと施工アンカーの素材強度として、接合筋又はアンカー筋の鋼材強度を試験成績表などにより確認するとともに、JCAAあと施工アンカーセット試験方法（素材強度標準試験方法）に基づく試験の値がその規定値を満足していることを確認する。

現場で施工されたあと施工アンカーが適正に固着されているか否かは、固着力の確認によるものとする。施工確認試験とは、現場で施工されたアンカーの固着状態を確認する試験である。施工確認試験は、特記によるものとする。特記がない場合は、試験は引張試験を行うこととする。試験方法はJCAAあと施工アンカー現場試験方法による。試験本数については特記がないときは、1日に施工されたものの各径ごとを1ロットとし、この中から3本を行う。ただし1日で同一径のものを複数員、複数の場所で施工する場合は、状況に合わせて監督員の指示により、ロットの構成の変更を行うことができる。引張試験を行う場合の確認試験荷重については、監督員の指示による。引張試験の例として、非破壊の試験とし、計算で得られたアンカーの鋼材による引張り荷重、又はコンクリート破壊による引張り荷重（埋込みピッチ及びへりあきの影響を受ける場合は、低減した荷重）の小さい方の2/3程度の荷重を確認荷重とする等の方法がある。接着系アンカーでは、上記鋼材及びコンクリートの破壊による引張り荷重に加え、付着破壊の荷重も考慮して決定する。引張剛性を測定する場合には、異形鉄筋のアンカー筋の端部にねじが設けられている時、ねじにナットをかけて引っ張ると、ねじ部が伸びるので、異形鉄筋部をチャッキングして引っ張るようにしたほうがよい。

全数の施工確認を行う場合には、簡便な施工確認試験として、打音検査によりその固着状態を確認する方法がある。打音での検査では、上記引張試験で合格となったあと施工アンカーを叩いて、音及び感触をつかみ、これと比較して検査をする方法がある。

なお、再施工を行ったあと施工アンカーの施工確認試験を行う場合は、不合格のあと施工アンカーが邪魔になり、試験を出来ない場合があるので、不合格あと施工アンカーの切断除去などの処置について考慮しておく必要がある。

解表3.3 品質管理項目と役割分担の原則（金属系アンカー）

工程	品質管理項目	管理区分				
		設計・監理者	全体工事請負業者	アンカー施工業者		アンカーメーカー
				主任技士 および 技術管理士	1種、2種*施 工士	
<div>設計</div> <div>↓</div> <div>施工計画</div> <div>↓</div> <div>準備工</div> <div>↓</div> <div>材料出荷</div> <div>↓</div> <div>材料受入</div> <div>↓</div> <div>ドリルマーキング</div> <div>↓</div> <div>コンクリートの穿孔</div> <div>↓</div> <div>孔内清掃 および 穿孔深さ確認</div> <div>↓</div> <div>アンカー打込み</div> <div>↓</div> <div>施工完了</div> <div>↓</div> <div>検査</div> <div>↓</div> <div>報告書</div>	□設計図書の作成	○				
	□設計図書の確認		○			
	□施工会社の選定	☆	○	○		
	□全体工程の計画作成		☆	◎		
	□施工計画書の作成	☆	☆	◎		
	□施工要領書の作成	☆	☆	◎		
	□所定材料の確認・発注		○	◎		
	□作業員の配置計画		☆	◎		
	□通路および養生方法の計画		☆	◎	○	
	□作業床の確保			◎	○	
	□仮設電気の確保		○	◎	○	
	□品質証明書の発行					○
	□材料の納入			◎	○	○
	□品質証明書の確認		☆	◎	○	
	□材料の種類・数量の確認		☆	◎	○	
	□墨出し位置の確認			○	○	
	□穿孔ドリル径の確認			○	○	
	□穿孔ドリル有効長の確認			○	○	
	□穿孔ドリル径の計測			○	○	
	□穿孔深さのマーキング			○	○	
	□墨出し位置への穿孔			○	○	
	□コンクリート面に対し垂直に穿孔			○	○	
	□集塵機または、ブロアーで切粉除去			○	○	
	□穿孔深さの確認・計測			○	○	
	□再び孔内の切粉を除去			○	○	
	□孔内にアンカーを挿入			○	○	
	□専用打込み棒を用いて、ハンマーにて打込む			○	○	
	□鉄筋または全ネジボルトを勘合する					
	□接触・打音試験	☆	☆	◎	○	○
	□非破壊確認試験(引張試験)	☆	☆	◎	○	○
	□試験報告書の作成			◎	○	○
	□試験報告書の確認	☆	☆			

*第2種あと施工アンカー施工士は、ネジ径12mm以下のあと施工アンカー工事を適切に施工できる技術的能力を有する者を指す。

☆印は承認行為を示す。

◎印は技術管理士の管理区分を示す。（主任技士は可）

解表3.4 品質管理項目と役割分担の原則（接着系アンカー）

工程	品質管理項目	管理区分				
		設計・監理者	全体工事請負業者	アンカー施工業者		アンカーメーカー
				主任技士および技術管理士	1種、2種*施工士	
設計	□設計図書の作成	○				
	□設計図書の確認		○			
施工計画	□施工会社の選定	☆	○	○		
	□全体工程の計画作成		☆	◎		
準備工	□施工計画書の作成	☆	☆	◎		
	□施工要領書の作成	☆	☆	◎		
材料出荷	□所定材料の確認・発注		○	◎		
	□作業員の配置計画		☆	◎		
材料受入	□通路および養生方法の計画		☆	◎	○	
	□作業床の確保			◎	○	
ドリルマーキング	□仮設電気の確保		○	◎	○	
	□品質証明書の発行					○
コンクリートの穿孔	□材料の納入			◎	○	○
	□品質証明書の確認		☆	◎	○	
孔内清掃および穿孔深さ確認	□材料の種類・数量の確認		☆	◎	○	
	□墨出し位置の確認			○	○	
アンカー筋埋込み	□穿孔ドリル径の確認			○	○	
	□穿孔ドリル有効長の確認			○	○	
硬化養生	□穿孔ドリル径の計測			○	○	
	□穿孔深さのマーキング			○	○	
施工完了	□墨出し位置への穿孔			○	○	
	□コンクリート面に対し垂直に穿孔			○	○	
検査	□集塵機または、プロアードで切粉除去			○	○	
	□穿孔深さの確認・計測			○	○	
報告書	□専用ブラシで孔壁に付着している切粉を除去			○	○	
	□再び孔内の切粉を除去			○	○	
報告書	□アンカー筋先端形状の確認			○	○	
	□孔内にアンカー筋を設置しマーキング			○	○	
報告書	□有効期限の確認			○	○	
	□流動性の確認			○	○	
報告書	□孔内にカプセルの挿入			○	○	
	□アンカーに一定速度で回転・打撃を与えて埋込む			○	○	
報告書	□マーキング位置と施工面の一致			○	○	
	□アンカーに付着した余剰樹脂等の清掃を行う。			○	○	
報告書	□所定の硬化時間内はアンカー筋等を動かさない。			○	○	
	□接触・打音による樹脂硬化の確認			○	○	
報告書	□接触・打音試験	☆	☆	◎	○	○
	□非破壊確認試験（引張試験）	☆	☆	◎	○	○
報告書	□試験報告書の作成			◎	○	○
	□試験報告書の確認	☆	☆			

*第2種あと施工アンカー施工士は、ネジ径12mm以下のあと施工アンカー工事を適切に施工できる技術的能力を有する者を指す。

☆印は承認行為を示す。

◎印は技術管理士の管理区分を示す。（主任技士は可）

解表3.5 主な施工管理内容（例）

工程		主要な管理項目	判定基準	管理方法	管理時期	不具合時処理	管理者	管理資料
施工計画		<input type="checkbox"/> 施工図	—	設計図書との整合性	施工計画時	修正する	管理責任者	—
		<input type="checkbox"/> 施工要領書	—	施工手順のチェック	施工計画時	修正する	管理責任者	—
材料受入		<input type="checkbox"/> 材料・数量の確認	設計図書	ミルシート等による確認	材料受入時	返品	管理責任者	ミルシート・出荷証明書
下地処理		<input type="checkbox"/> 仕上げ材有無	仕上げ材有無	目視・検査ハンマー	現地調査時	撤去・埋込み深さの変更	管理責任者	—
		<input type="checkbox"/> ひび割れの処理	0.3mm以上	目視・クラックスケール	躯体表面露出後	エポキシ樹脂注入など	管理責任者	—
		<input type="checkbox"/> 埋設鉄筋等の確認	<input type="checkbox"/> 埋設鉄筋等が干渉しない	鉄筋探知器	現地調査時	管理者責任者と協議	管理責任者	—
		<input type="checkbox"/> 墨出し	施工図	スケール定規	施工前	再墨出し	管理責任者	施工図
ドリルマーキング		<input type="checkbox"/> コンクリートドリルの選定	適正ビット径・有効長の確認	スケール定規・ノギス	施工前	交換	施工責任者	施工確認シート
		<input type="checkbox"/> 穿孔深さのマーキング	マーキング位置	ノギス	施工前	修正	施工責任者	施工確認シート
コンクリートの穿孔		<input type="checkbox"/> 母材への穿孔	施工面に直角	目視	穿孔時	管理者責任者と協議	施工責任者	施工確認シート
孔内清掃および穿孔深さ確認	金属系	<input type="checkbox"/> 吸塵清掃	切粉の有無	目視	穿孔後	再清掃	施工責任者	施工確認シート
		穿孔深さの確認	所定の穿孔深さの確認	スケール定規・ノギス	アンカー打込み前	管理者責任者と協議	施工責任者	施工確認シート
	接着系	<input type="checkbox"/> 吸塵清掃（ブラシがけ）	切粉の有無	目視	穿孔後	再清掃	施工責任者	施工確認シート
		穿孔深さの確認	所定の穿孔深さの確認	スケール定規・ノギス	アンカー埋込み前	管理者責任者と協議	施工責任者	施工確認シート
アンカー打込みおよび埋込み	金属系	<input type="checkbox"/> アンカーの挿入	アンカー本体とコーンの一体化	目視・接触	アンカー打込み前	交換	施工責任者	施工確認シート
		<input type="checkbox"/> アンカーの打込み	目視・打音・手ごたえ	目視・打音・手ごたえ	アンカー打込み後	管理者責任者と協議	施工責任者	施工確認シート
	接着系	<input type="checkbox"/> マーキング	孔深さとアンカー筋マーキングの一致	スケール定規・ノギス	カプセル挿入前	再マーキング	施工責任者	施工確認シート
		<input type="checkbox"/> カプセル挿入	流動性があること	目視または接触	カプセル挿入前	交換	施工責任者	施工確認シート
		<input type="checkbox"/> アンカー筋の埋込み（回転・打撃）	マーキング位置と施工面の一致	目視	アンカー埋込み後	管理者責任者と協議	施工責任者	施工確認シート
硬化養生（接着系のみ）		<input type="checkbox"/> 養生期間	アンカーメーカー所定の硬化時間目安	—	施工後	硬化時間確保	施工責任者	施工確認シート
		<input type="checkbox"/> 樹脂硬化確認	樹脂硬化	接触・打音	効果養生後	管理者責任者と協議	施工責任者	施工確認シート
検 査		<input type="checkbox"/> 施工確認試験（引張試験）	確認荷重以上	非破壊試験機	硬化養生後	管理者責任者と協議	管理責任者	試験報告書

3. 1. 4 安全衛生管理

- 1) あと施工アンカーの施工に際しては、労働安全衛生法及び労働安全衛生規則等関連法規に従い、施工条件、作業環境を適正なものとし、安全の確保に努めなければならない。
- 2) あと施工アンカーの施工に当たっては、工事現場の周辺への騒音、粉塵などに対して十分に配慮する。

【解説】

あと施工アンカーの施工には、労働安全衛生法、労働安全衛生規則など関連法規に従い、施工条件、作業環境を適正なものとして、安全衛生上の必要な対策を講ずる。

施工条件で課題となるものに騒音、振動がある。穿孔機械の中では、ダイヤモンドコアドリルが騒音、振動への対策として優れている。この穿孔装置には、超音波振動を利用したもの等、これまで以上に低振動・低騒音の装置も提供されるようになってきている。また、振動については、振動発生場所付近だけでなく、振動が躯体を伝わって離れた場所において思わぬ音として発生することがある。ダイヤモンドコアドリルでの穿孔に当たっては、水を使用するものが多いので、事前に水処理の対策を検討する。なお、穿孔時の騒音・振動以外に、アンカーの埋込み時の騒音・振動も検討する必要がある。その場合には、現場の環境に応じて事前に、低騒音を考慮したアンカーの埋込み方法や低騒音に適したアンカーを選択するなどの検討を行う。

3. 2 炭素繊維及びアラミド繊維

3. 2. 1 総則

- 1) 連続繊維シート及びプライマー等の種類等については、1.4節による。
- 2) 連続繊維シートの施工に当たっては、製品について十分な知識を持ち、訓練された施工管理者と施工技能者が実施する。
- 3) 施工者は、設計図書等に基づき、連続繊維補強工法の効果が十分に発揮されるように適切な施工計画や配員計画を立て、施工計画書を作成する。この施工計画書に対応して、工事方法を具体的に定めた施工要領書を作成する。
- 4) 施工は施工計画書及び施工要領書に従って行う。

【解説】

連続繊維シートによる耐震補強工法は施工技能者の技量や施工管理者の知識や能力によって、施工欠陥の多寡が決まる。従って、施工に当たっては優秀な技能者と管理者が担当することが重要となる。管理者は材料・工法に関する基礎知識を有し、施工管理上の留意点と対処方法を把握していなければならない。技能者はこれらの知識を持つと共に連続繊維シートの貼付け作業に関して十分な実績を持ち、施工要領を体得していることが必要である。

繊維補修補強協会（FiRst）²⁾は連続繊維補強工法の施工品質の信頼性確保を目的として施工管理士及び施工士の資格の認定を行っており、これらの資格を活用するとよい。資格認定は研修会と筆記試験の形式を取り、施工士の受講者に対しては実施工の技能検定も行っている。認定資格には次のものがある。

- 1) 連続繊維施工士：連続繊維補強材によるコンクリート構造物の補修・補強工事の施工に関する技術

²⁾ 繊維補修補強協会（<http://www.fir-st.com/>）

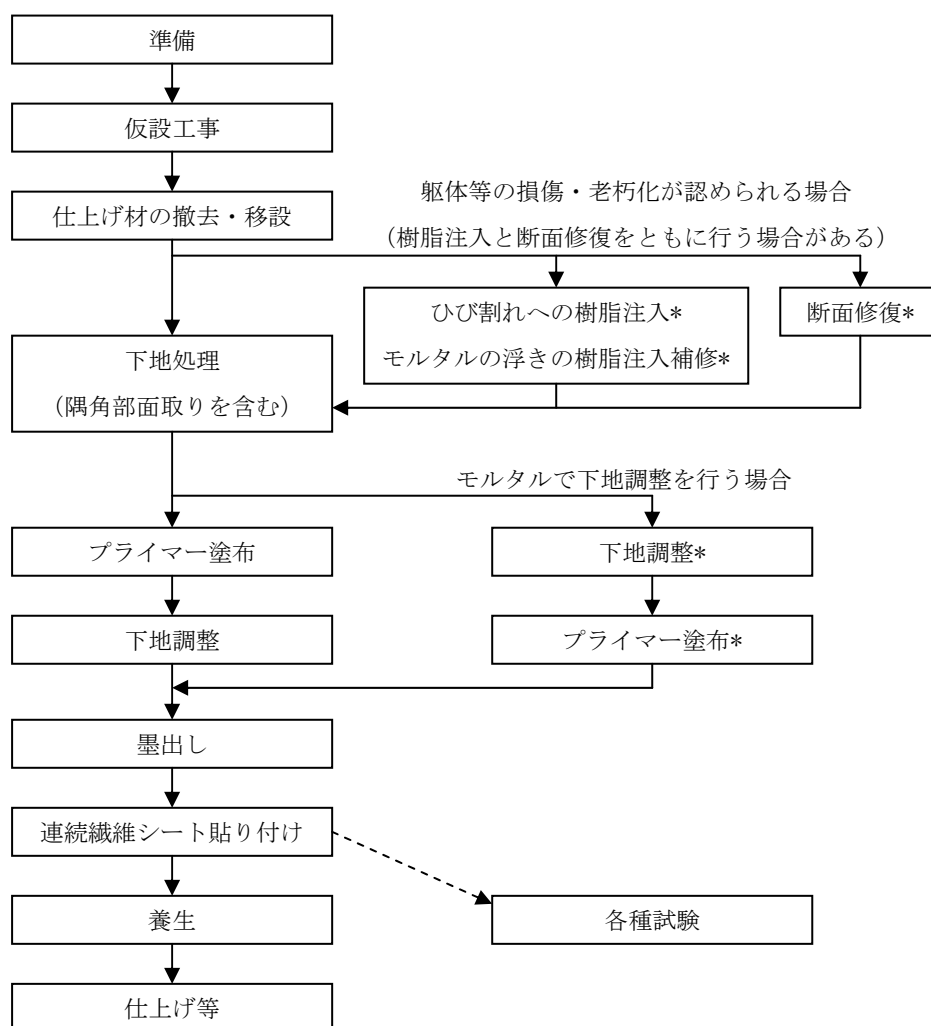
内容及び連続繊維補強材や含浸接着樹脂等、使用材料の特性と施工方法を十分に理解し、所定の施工技能を有するもの。

- 2) 連続繊維施工管理士：連続繊維補強材によるコンクリート構造物の補修・補強に関する設計の基礎知識と施工の技術内容を十分に理解している施工管理技術者で、改修監理指針に準拠して工事を管理する技術を有するもの。

連続繊維シートを用いた耐震補強工事は、建築物を使いながら行うことが多いので、事前に十分な現地調査を行い、施工条件を把握して、施工計画に反映しておくことが重要である。施工計画書は、施工上留意しなければならない点を含み、工事開始前に必ず作成しなければならない。また、連続繊維シートを用いた耐震補強工事の管理は、施工管理士、2級建築施工管理技士又はそれと同等以上の管理技術の資格を持つ者が行うことを原則とするので、配員計画も立てておく必要がある。施工は所定の技術を有する者により行う。有機溶剤の取り扱い、有資格者により保管及び作業を行わなければならないので施工計画に反映しておく。なお、施工要領書には施工場所に応じた適切な下地処理方法や材料、機械の選定、作業手順、作業用足場、連続繊維シートの割り付け図、養生などについて具体的な要領が示されなければならない。

工事の実施は、施工計画書及び施工要領書に従い、計画どおりの進行を図る。

施工指針の詳細は連続繊維指針、改修標仕、改修監理指針を参照されたい。なお、改修監理指針に示された施工フローを解図3.4に示す。



解図3.4 標準施工フロー (*印は必要に応じて実施する項目)

3. 2. 2 施工方法

連続繊維シートによる耐震補強の施工方法の詳細は連続繊維指針、改修標仕及び改修監理指針による。

【解説】

連続繊維シートによる耐震補強の施工方法の詳細は「連続繊維指針」、「改修標仕」、「改修監理指針」によるが、解図3. 4に示した標準施工フローに従って、概略を以下に示す。

(a) 準備

施工を円滑に行うために、各施工段階で使用する資機材を準備する。そして使用材料の規格寸法や数量の確認を行い、出荷証明書、品質証明書（ミルシート）によって品質の確認を行う。材料の保管場所は直射日光を避け水や埃で汚れない場所とする。エポキシ樹脂などは施工時の気温だけでなく材料自体の温度で可使用時間が大幅に変動するので、保管場所の温度に注意する。特に低温時には保温を考慮した養生を検討して仮設する。また、炭素繊維は導電性があり、電極に触れると短絡事故などの恐れがある。電力設備や電子機器のある場所では繊維が飛散しないように注意する。

(b) 仮設工事

仮設工事は一般的な改修工事と同様に改修標仕及び改修監理指針に従うが、連続繊維シート工事での注意事項を以下に示す。

- (i) 柱上部での作業には足場が必要であり、良好でない足場では作業しにくく、施工品質が低下しやすいので気を付ける。
- (ii) エポキシ樹脂を塗布するので、換気設備を設置する。また、温度が 5℃以下となることが想定される場合は、加温養生の準備を行う。
- (iii) 補強対象となる柱に設置されている設備類（スイッチ、コンセント、配管等）は、移設や局所補強の検討を行う。

(c) 仕上げ材の撤去・移設

連続繊維シートを貼り付ける柱は、原則として既存の仕上げを撤去する。ただし、モルタル仕上げの場合で、以下に示す条件をすべて満たす場合は撤去しなくともよい。

- (i) 下地コンクリート又はモルタルとの付着強度が 1 N/mm^2 以上
- (ii) 補強工法に使用するプライマー及びセメント系下地調整材との付着力が 1 N/mm^2 以上で、溶剤成分との化学反応により溶解・軟化・膨潤（リフティング）を生ずることのない仕上げ材
- (iii) 厚さが $D/15$ （ D ：既存躯体断面のせい）以下で、シュミットハンマー試験による反発硬度が 40 以上
- (iv) 幅 0.3mm 以上のひび割れや著しい浮き・劣化がない

(d) 下地処理等

鉄筋の露出部やジャンカなどの欠損部はその周囲の脆弱なコンクリートをはつり、鉄筋の錆を落として防錆処置をし、ポリマーセメントモルタルなどにより補修する。修復する断面が大きくなるときには、コンクリートや無収縮モルタルなどで補修する。いずれの場合にも補修後の表面はポリマーセメントモルタル又はエポキシパテにて平滑に仕上げる。断面修復用の材料は躯体のコンクリートと同等以上の強度を有するもので、平成 13 年国土交通省告示第 1372 号に適合するものとする。

SRC 造では梁鉄骨の下フランジの下側部分において、コンクリートの充填不良を起こしていることがよくあるので注意する必要がある。

ひび割れ部は連続繊維シートへの応力集中の原因となるので、エポキシ樹脂の注入などにより、必ず補修する。

解図 3.5 に示すように、コンクリート表面に凸部やひび割れによるエッジや段差があると、補強効果が十分に発揮されないおそれがあるので、下地は平滑な表面とする必要がある。あわせて表面の脆弱層や汚れは接着を阻害するため除去する。また、応力が集中するコーナー部は曲面に加工して応力を緩和する必要がある。曲面半径の大きさは、炭素繊維で 20mm 以上、アラミド繊維で 10mm 以上とし、既存部の鉄筋に対して規定値以上のかぶりコンクリート厚が確保されていることとする。精度はモルタルによる成形の方が良好に仕上がる。サンドブラストや高圧水による研削は粗面となりやすく、本工法の下地処理には不向きである。ケレン後の表面に残る粉塵はプライマーの接着を阻害するため、エアブローなどで十分に清掃する。

(e) プライマー塗布

プライマー塗布はコンクリートと連続繊維の接着性を向上させる目的で行う。硬化速度は温度が高いほど速くなり、一度に大量に混合すると硬化反応で材料自体が発生する熱によって、さらに硬化が促進される。このため、一回に混合する量はメーカーの指示する可使時間内に使い切れる量とする。施工時の気温に合わせて、夏用、冬用などの種類があり、可使時間がそれぞれ異なるので注意する。エポキシ樹脂系のプライマー塗布の施工手順と留意事項を以下に示す。

- (i) 気温や下地温度は 5℃以上で、かつ下地の表面含水率はモルタル水分計などで調べ、8%以下であることを確認する。
- (ii) メーカーの表示に従って主剤と硬化剤を計量（通常の比率は重量比）して混合する。ハンドミキサーを用いるときは低速で回転させ、気泡の発生を少なくする。混合は主剤と硬化剤が均一に混じり合うまで十分に行う。
- (iii) ローラー、刷毛を用いて均一に塗布するが、ダレが生ずるほど塗布する必要はない。
- (iv) 溶剤入りのプライマーは浸透性と揮発性を有するため、一度塗りでは十分な塗布ができないので、仕上がり状況を見て 2～3 回塗布する。また、換気や火気には十分に注意する。
- (v) 可使時間の管理は時間を計ることを原則とするが、容器内の混合した材料が発熱して粘り気が増したものは可使時間を過ぎており、使用を中止する。
- (vi) 容器やローラー刷毛は清浄に保ち、可使時間を過ぎた材料と新たに混合した材料が混じらないように注意する。
- (vii) 作業は保護マスク、保護メガネ、保護手袋を着用し、プライマーが肌や目に直接触れないように注意する。
- (viii) 余った材料は大量に容器に入れたまま放置すると発熱することがあるため、小分けにして砂や土を投入して発熱を抑え、産業廃棄物として処分する。
- (ix) 塗布後は雨や粉塵から養生する。夜間は結露することがあるので、そのような天候の際には保温するなどの養生が必要である。
- (x) 硬化までに水分が付着すると、表面が白く変色する（白化現象）。しかし、強度低下をきたしているのはごく表層のみであるので、専用シンナーでの拭き取りやサンドペーパーでの研磨などの処置を行う。

(f) 下地調整

連続繊維を貼り付ける下地は平滑である必要があり、エポキシパテをゴムべらなどでしごいて平滑な面に仕上げる。特に、ピンホールは最初に速乾性の材料でつぶすこと。

(g) 墨出し

連続繊維シートは蛇行したり、所定の位置からずれるとその性能を十分に発揮することができない。解図 3.6 に割付けの例を示すが、基準となる 1 層目の接着位置を正確にマーキングし、直線性が確保できるようにシートの割り付けを行う。墨はエポキシ樹脂を塗布すると判別しづらくなるので明るい色のものがよい。

(h) 連続繊維の貼り付け（解図 3.7 参照）

プライマーの指触硬化後、水分や埃の付着がないことを確認し、エポキシ樹脂を十分含浸させながら連続繊維を接着する。エポキシ樹脂もプライマー同様、5℃以下の気温では硬化が著しく遅くなるので、寒冷期には保温養生を検討する。以下に施工の手順と留意事項を示す。

- (i) エポキシ樹脂はプライマーと相性のよいものを用いる。
- (ii) 連続繊維の切断は施工割り付け図に従い、鋏やカッターナイフで行う。この際、砂や埃が付着しないように下敷きを用いるなど、適切な処置をする。切断した連続繊維は折り曲げたり、小さく巻いたりしてはならない。運搬の際には繊維のバラケや折れに注意する。
- (iii) エポキシ樹脂はプライマーと比べ粘度が高いため、角形の容器で混合すると隅角部にある樹脂が混じりにくいので丸形の容器を用いるとよい。
- (iv) 施工面にエポキシ樹脂を均一に塗布する。塗布量は製品や施工面の状態で若干異なるが、連続繊維への含浸分のほか下地と連続繊維の間に微細な凹凸があっても密着性が確保できる量とする。
- (v) エポキシ樹脂の下塗り後、直ちに連続繊維を貼り付ける。貼付けは割り付け図に従い一方向から皺や膨れが残らないように下地に密着させてゆく。そして脱泡ローラーでよく押さえてエポキシ樹脂を十分に含浸脱泡させる。この状態で 30～60 分の時間をおいて更に樹脂をなじませるとよい。エポキシ樹脂の含浸速度は、粘度や連続繊維の種類によって変動するので注意する。
- (vi) 連続繊維と直角方向の並びは突合わせ又は重ねとする。突合わせの場合、施工誤差で生ずる連続繊維間の隙間は 5mm 以下とする。
- (vii) 繊維方向のラップ長さは連続繊維の種類によって異なり、炭素繊維では 200mm 以上、アラミド繊維では 200～300mm 以上とする。
- (viii) 以上の作業の後、エポキシ樹脂を上塗りして連続繊維の上面からもよく含浸脱泡させる。そしてゴムべらで十分に均して余分なエポキシ樹脂は取り除き、上に積層する連続繊維に凹凸が生じないようにする。
- (ix) 積層する場合は上記の工程を繰り返す。このときに、水平方向のラップ位置は、柱の各面に分散させることが原則であり、同一面に集中しないようにずらせて貼る。

(i) 養生

施工後の養生対策はプライマー塗布と同様に行う。

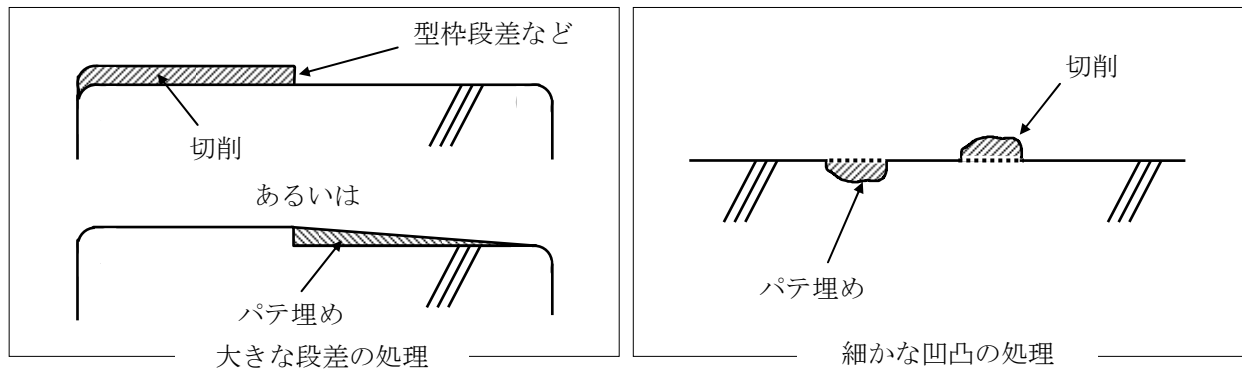
(j) 仕上げ

連続繊維シートは屋外暴露試験や促進暴露試験により耐久性に優れていることが確認されており、経年劣化を考慮した保護仕上げは不要である。しかし、エポキシ樹脂の表層は紫外線やオゾンによる劣化で白化し、美観を損ない易い。そこで、意匠性、傷つき防止、防火などの観点から

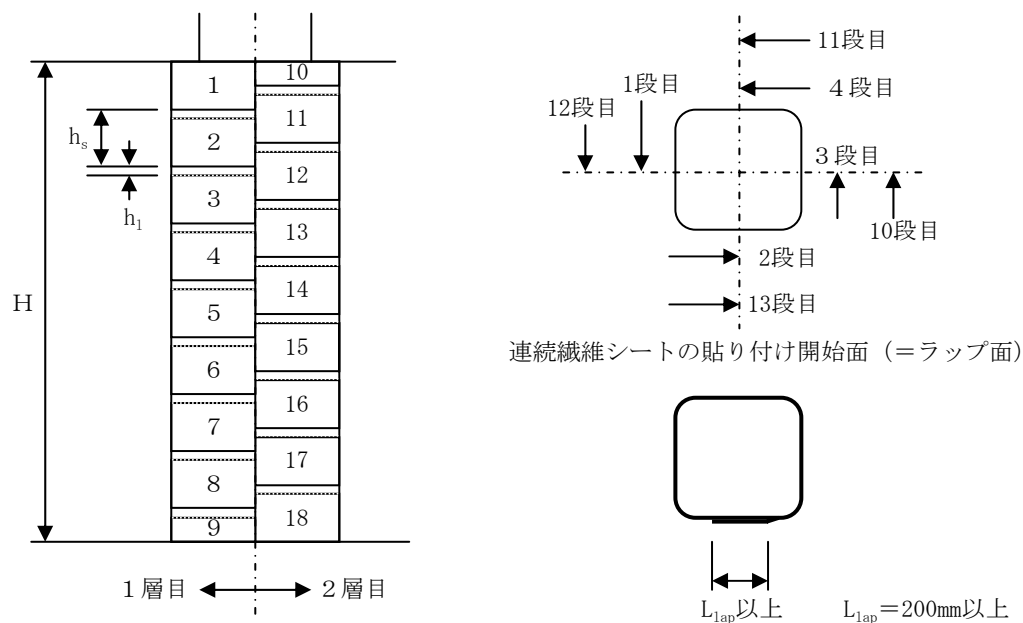
必要に応じてモルタル塗り、ボード貼り、塗装などの仕上げを行う。いずれの仕上げを施工する場合にも補強効果に悪い影響を与えず、かつ仕上げ材自体の剥落などの不具合が生じないように施工する。

(k) その他

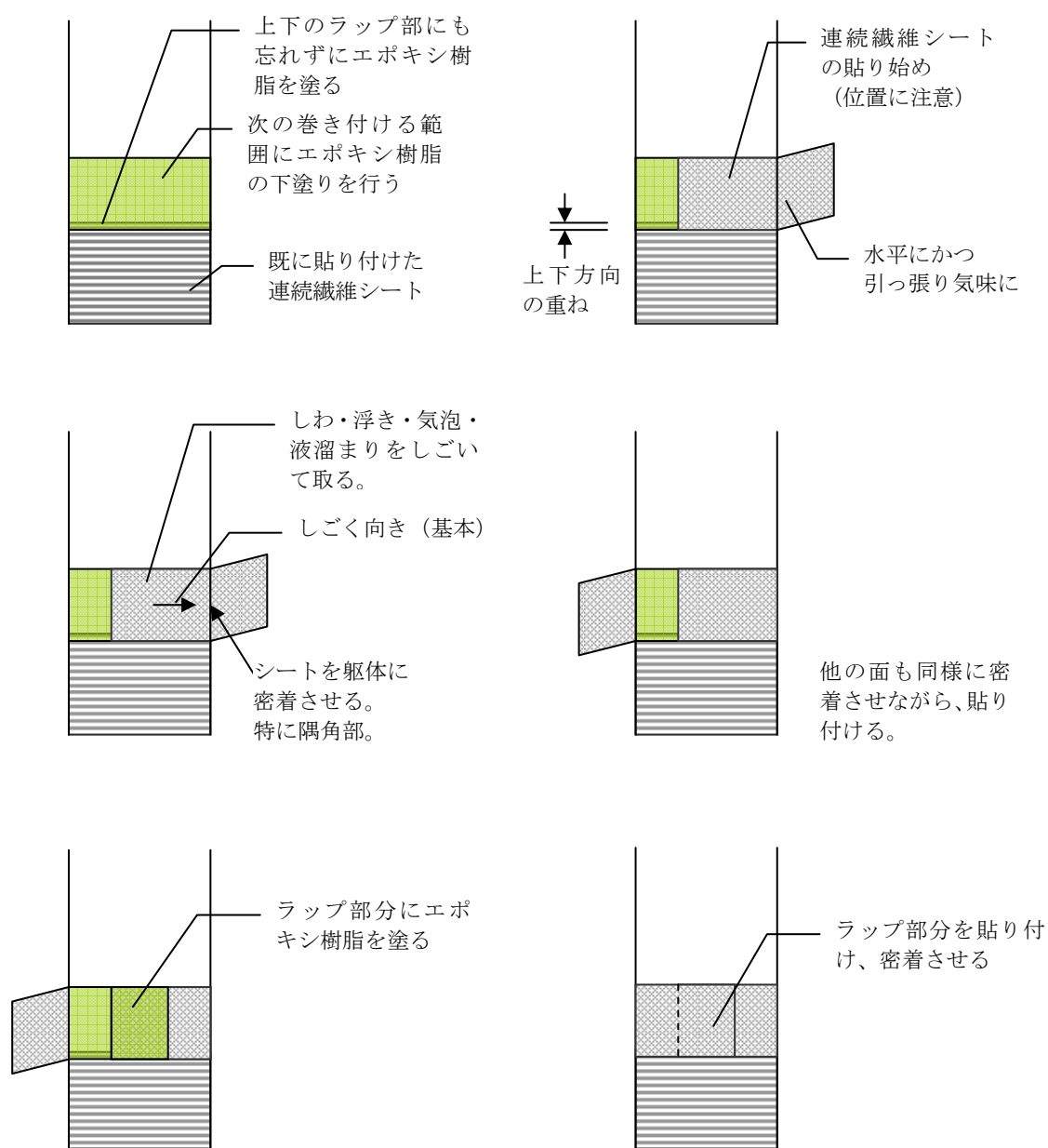
埋設物や開口部廻りの補強は、連続繊維指針に示されている方法で連続繊維シートを増し貼りする。



解図3.5 コンクリート表面の平滑処理方法の例



解図3.6 シート割付け図の例（シート2層貼り付ける場合）



解図3.7 連続繊維シート貼付け手順

3. 2. 3 品質管理

- 1) 連続繊維シートを用いた補強工事の施工に当たっては、所定の施工品質が確保されるよう作業工程に応じた品質管理項目を定め、施工管理体制を確立して品質管理を行う。
- 2) 品質管理項目ごとに、判定基準・管理方法・管理時期等の具体的な施工管理内容を定める。

【解説】

連続繊維シートを用いた補強工事の品質管理は、解表3.6、解表3.7に示す繊維補修補強協会のチェックシート^[1]等を参考とした作業工程ごとの品質管理項目を定めて実施する。また、品質管理項目ごとに、判定基準・管理方法・管理時期等の具体的な施工管理内容を定める。特に以下に示す項目は施工品質を良好にするために重要である。

解表3.6 品質管理項目と役割分担の原則

工程	品質管理項目	管理区分				
		設計・ 監理者	請負工事 業者	施工 管理士	施工士	材料 メーカー
設計	□設計図書の作成	○				
	□設計図書の確認		○			
施工計画	□施工会社の選定	☆	○			
	□全体工程の計画作成		○			
発注	□施工計画書の作成	☆	○			
	□施工要領書の作成		☆	○		
準備	□所定材料の確認・発注			○		
	□作業員の配置計画		☆	○		
	□通路および養生方法の計画		☆	○		
	□シート貼り養生の設置				○	
	□作業床の確保				○	
	□仮設電気の確保		○			
材料出荷	□品質証明書の発行					○
	□材料の納入					○
材料受入	□品質証明書の確認			○		
	□材料の種類・数量の確認			○	(○)	
	□下地状態の確認		☆	○	(○)	
	□下地処理方法の指示			○		
下地処理	□サンダーがけ				○	
	□ひび割れの補修				○	
	□劣化部・鉄筋露出部・欠損部等の補修				○	
	□隅角部の面取り				○	
	□下地処理状態の確認			○	(○)	
	□下地乾燥状態の確認			○	(○)	
	□施工時の気温・湿度等の確認			○	(○)	
	□プライマー塗布量の確認				○	
プライマー塗布	□プライマー可使時間の確認				○	
	□プライマーの計量・調合				○	
	□プライマーの塗布				○	
	□プライマー塗布状態・使用量の確認			○	(○)	
下地調整	□パテ材による下地調整				○	
	□下地調整状態の確認				○	
墨出し	□連続繊維シート割り付け方法の指示			○		
	□連続繊維シート貼り付け位置の墨出し				○	
	□貼り付け層数の指示			○		
	□施工時気温・湿度等の確認			○	(○)	
	□エポキシ樹脂の塗布量の確認				○	
	□エポキシ樹脂の可使時間の確認				○	
連続繊維シート貼り付け	□連続繊維シートの種類・外観の確認			○	(○)	
	□エポキシ樹脂の計量・調合				○	
	□連続繊維シートの貼り付け				○	
	□エポキシ樹脂の塗りむらの確認				○	
	□エポキシ樹脂の含浸状態の確認				○	
	□連続繊維シートの重ね長さの確認				○	
	□空隙・気泡・しわ等の点検				○	
	□エポキシ樹脂の塗布状態・使用量の確認			○		
養生	□エポキシ樹脂硬化の確認				○	
	□仕上げの下地処理の実施				○	
仕上げの下地処理	□仕上げの下地処理状態の確認			○		
	□空隙・気泡・しわ等の点検			○		
検査	□完了検査		☆	○		
完了						
材料試験	□供試体の作製				○	
	□材料試験結果の確認		☆	○		
報告書	□施工報告書の作成			○		
	□施工報告書の確認		☆			

(○) 印は、施工管理士の代行が可能な業務とする。但し、結果は施工管理士へ報告するものとする。

☆印は承認行為を示す。

解表3.7 主な施工管理内容（例）

工程	主要な管理項目	判定基準	管理方法	管理時期	不具合時処理	管理者	管理資料
施工計画	□施工図	—	設計図書との整合性	施工計画時	修正する	管理責任者	
	□施工要領書	—	施工手順のチェック	施工計画時	修正する	管理責任者	
材料受入	□材質・数量の確認	設計図書	ミルシート等による確認	材料受入時	返品	管理責任者	ミルシート・出荷証明書
下地処理	□ひび割れの処理	0.3mm以上	目視・クラックスケール	躯体表面露出後	エポキシ樹脂注入など	管理責任者	管理チェックシート
	□劣化部・鉄筋露出部・欠損部等の処理	構造上有害なもの	目視・検査ハンマー	躯体表面露出後	ポリマーセメントモルタル・エポキシパテ充填	管理責任者	管理チェックシート
	□コーナー部のR面取り確認	半径10または20mm以上（*）	目視・スケール	下地処理後	修正する	管理責任者	管理チェックシート
プライマー塗布	□下地乾燥状態の確認	コンクリート表面含水率8%以下	高周波モルタル水分計等	プライマー着手前	除湿又は施工延期	管理責任者	管理チェックシート
	□施工時気温等の確認	5℃以上・結露の無いこと	温度計・目視	プライマー着手前	保湿養生・除湿又は施工延期	管理責任者	管理チェックシート
下地調整	□表面平滑度の確認	凹部・突起のないこと	目視・指触	下地調整後	エポキシパテ補修	管理責任者	管理チェックシート
連続繊維シート貼り付け	□施工時気温等の確認	5℃以上・結露の無いこと	温度計・目視	エポキシ樹脂塗布前	施工延期 保温養生・除湿	管理責任者	管理チェックシート
	□塗布量の確認	標準使用量	空缶・目視	日毎	再塗布	管理責任者	管理チェックシート
	□貼り合わせ枚数の確認	設計図書	目視	シート貼り付け後	増し貼り	管理責任者	管理チェックシート
	□シート重ね長さの確認	20cm以上	目視・スケール	シート貼り付け後	増し貼り又は不良部カット補修	管理責任者	管理チェックシート
	□空隙・気泡・しわ等の点検	有害な空隙等が無いこと	目視・指触	シート貼り付け後	増し貼り又は不良部カット補修	管理責任者	管理チェックシート
検査	□引張強度試験	基準値以上	JIS A1191		工事管理者と協議	管理責任者	管理チェックシート
	□付着強度試験		JIS A6909			管理責任者	管理チェックシート

（*）アラミド繊維の場合は半径10mm以上、炭素繊維の場合は半径20mm以上

(a) 施工前確認

施工前確認として使用材料の受け入れ検査がある。受け入れ検査は連続繊維シート、エポキシ樹脂、プライマー等を貼られたラベルやメーカーが発行する試験成績書等で製品を確認する。また、連続繊維シートは縦糸の色でも見分けられることが多いので、メーカーに確認するとよい。

(b) 施工時の確認

施工時には、隅角部の面取り、下地の鉛直精度と平面精度、下地の乾燥、施工時の雰囲気温度、樹脂の含浸度合い、施工欠陥の有無の確認、養生（温度・水分）等を確認する。

(c) 施工後の確認

施工後の確認として解図3.8に示す引張試験と付着強度試験がある。詳細は連続繊維指針及び改修監理指針に示されているが、引張試験は5体以上、付着強度試験は5ヶ所以上とし、試験結果の判定基準の例を解表3.8に示す。

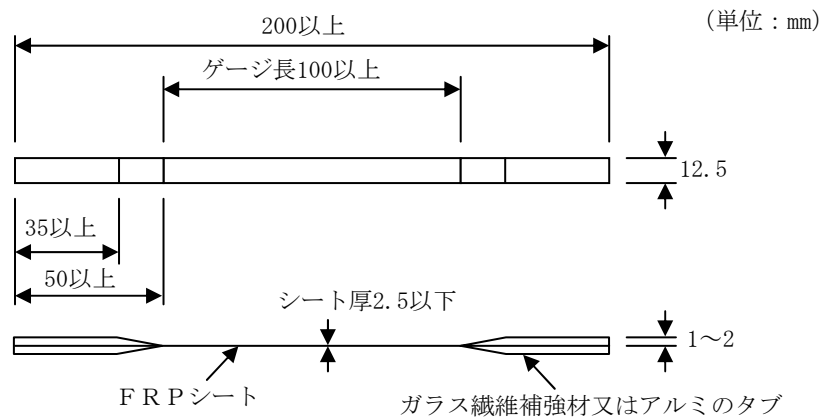
引張試験は解図3.8(1)に示すJIS A1191（コンクリート用連続繊維シートの引張試験方法）による。

付着強度試験は解図3.8(2)に示すJIS A6909（薄付け仕上塗材）を準用して行う。

ただし、補強工事がせん断補強を目的とし、柱に閉鎖型に巻き付ける場合は連続繊維とコンクリートの接着強度を期待しないので、付着強度試験は省略できる。なお、連続繊維指針では、「試験の頻度等について、関係者間で協議の上決定する」とあるが、目安として、連続繊維の1ロールごと、又は、エポキシ樹脂は季節によって製品が変わるので、製品が変わった場合に実施するとよい。

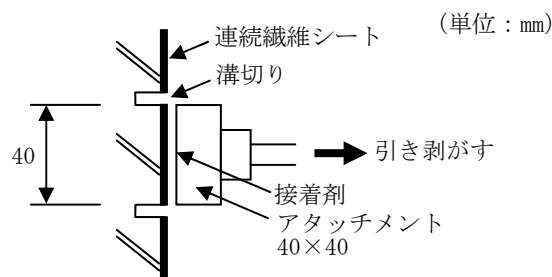
解表3.8 試験結果の判定基準の例

試 験	項 目	判 定 基 準
引張試験	引張強さ	指定書の数値を上回ること
	引張弾性率	指定書の数値の範囲であること（範囲の記載がない場合は平均値の±10%の範囲とする）。ただし、炭素繊維については破断ひずみが1.4%以上の場合は、メーカーカタログ値の範囲を上回ることを許容する。
付着強度試験	接着強さ	下地（コンクリート又はモルタル）の引張強度で定まる試験値を上回ること
	連続繊維シートの層間はく離	ないこと



注) JIS A1191に示されたI型試験片を用いる。多くの場合、ゲージ長は100mmとしている。一方、つかみ部の寸法は効率的な試験遂行のため、試験機や試験機関によって上記の範囲内で変更している場合もある。

(1) 連続繊維シート引張試験の試験片の例



(2) 付着強度試験

解図3.8 代表的試験方法

3. 2. 4 安全衛生管理

連続繊維シートを用いた耐震補強工事の施工に際しては、各使用材料の特徴を十分に認識するとともに、労働安全衛生法及び労働安全衛生規則等関連法規に従い、施工条件、作業環境を適正なものとし、安全の確保に努めなければならない。

【解説】

連続繊維シートを用いた耐震補強工事における使用材料は、プライマー、エポキシ樹脂、連続繊維シート、仕上げ材等多岐にわたっている。工事を安全に行うためには、各使用材料の特徴を十分に認識すると共に、労働安全衛生法及び労働安全衛生規則等関連法規に従い、施工条件、作業環境を適正なものとしなければならない。連続繊維シートを用いた耐震補強工事における安全衛生管理の留意事項の概略を以下に示す。

(a) 施工者の安全知識

施工者は取り扱う材料の安全衛生について、警告表示の内容は勿論のこと、カタログや技術資料等に記載されている安全衛生に関わる事項について十分な知識を持たなければならない。このためには工事に先立ち、材料・工法に関する教育・研修を行う必要がある。

(b) 電氣的障害の防止

炭素繊維には導電性があるため、空中に浮遊した炭素繊維のフライ（浮遊片）が電気・電子機器に付着すると電気障害のもとになるので、裁断は定められた場所で行うようにする。

(c) かぶれ等の防止

フライが皮膚に付着するとかゆみが生じ、場合によってはかぶれの原因となることもあるので、保護具を使用すると共に、顔などの露出部分にはクリーム等を塗布し、保護しておくといよい。

(d) 樹脂材料の保管・取扱い

有機溶剤の使用に当たっては、作業主任者を選任し、作業の指揮を取らせなければならない。樹脂材料及び有機溶剤の保管は、場所を定め法規に定められた貯蔵の表示（消防法）、掲示（有機則第24条、労働省告示第123号）、溶剤区分の表示（有機則第25条）を行わなければならない。（有機則：労働安全衛生法 有機溶剤中毒予防規則）

有機溶剤を使用する場合は、閉空間での作業は換気に十分注意し、必要に応じて強制換気を行う等、有機溶剤の吸引による事故防止を行わなければならない。

(e) 足場等の作業環境の整備

足場、路下状況、その他の作業環境を整備する。特に、安全な作業床を設けると共に、手すり等の防護施設を完備する。

(f) 廃棄物の取扱い

発生ごみや残材を廃棄する場合は、「廃棄物処理及び清掃に関する法律」に従い、次のように行う。

産業廃棄物の処分方法としては、繊維補修補強協会で解表3.9に示すようにまとめられている。埋立てに関しては、最終処分場の型に安定型、管理型、遮蔽型の3種類があり、廃棄物の内容に制限がある。ただし、自治体によって扱いが異なることもあるので注意する。

解表3.9 廃棄物の種類と処理方法（文献^[1]の表を修正）

廃棄物	埋立て			焼却
	安定型	管理型	遮蔽型	
廃棄缶	○	○	○	
樹脂類（液状）				○
樹脂類（硬化物）	○	○	○	○
炭素繊維シート		○	○	
アラミド繊維シート		○	○	○
炭素繊維シートのFRP	○	○	○	
アラミド繊維シートのFRP	○	○	○	○

表中、空欄は処理の対象とならないことを示す。

参考文献（第3章）

- [9] 繊維補修補強協会：連続繊維施工管理士及び施工士のための連続繊維補強工法研修会用テキスト 平成18年1月

第4章 計算例

第4章では、一次設計における補強部分の検討のため、本設計・施工指針に従って補強部分の許容耐力を計算する場合の例を示す。なお、参考資料としてあと施工アンカー（接着系）及び連続繊維（炭素繊維）それぞれの指定書の例を示したので、あわせて参照されたい。

4. 1 あと施工アンカーを用いた耐震補強の計算例

4. 1. 1 鉄筋コンクリート増設壁により補強する場合

（1）設計条件

図4.1に示すとおり、既存の柱梁架構内に鉄筋コンクリート造の耐力壁を設置し、耐震補強とする計画である。部材寸法及び材料特性等を以下に示す。

〈部材寸法〉

- ・ スパン長さ： $\ell=6000$ mm
- ・ 階 高： $h=2800$ mm
- ・ 内法長さ： $\ell'=5400$ mm
- ・ 内法高さ： $h'=2200$ mm
- ・ RC梁断面： $b \times D=450$ mm \times 600 mm
- ・ RC柱断面： $b \times D=600$ mm \times 600 mm（主筋10-D22，SD345／帯筋D10@100，SD295）
- ・ RC増設壁厚： $t=200$ mm

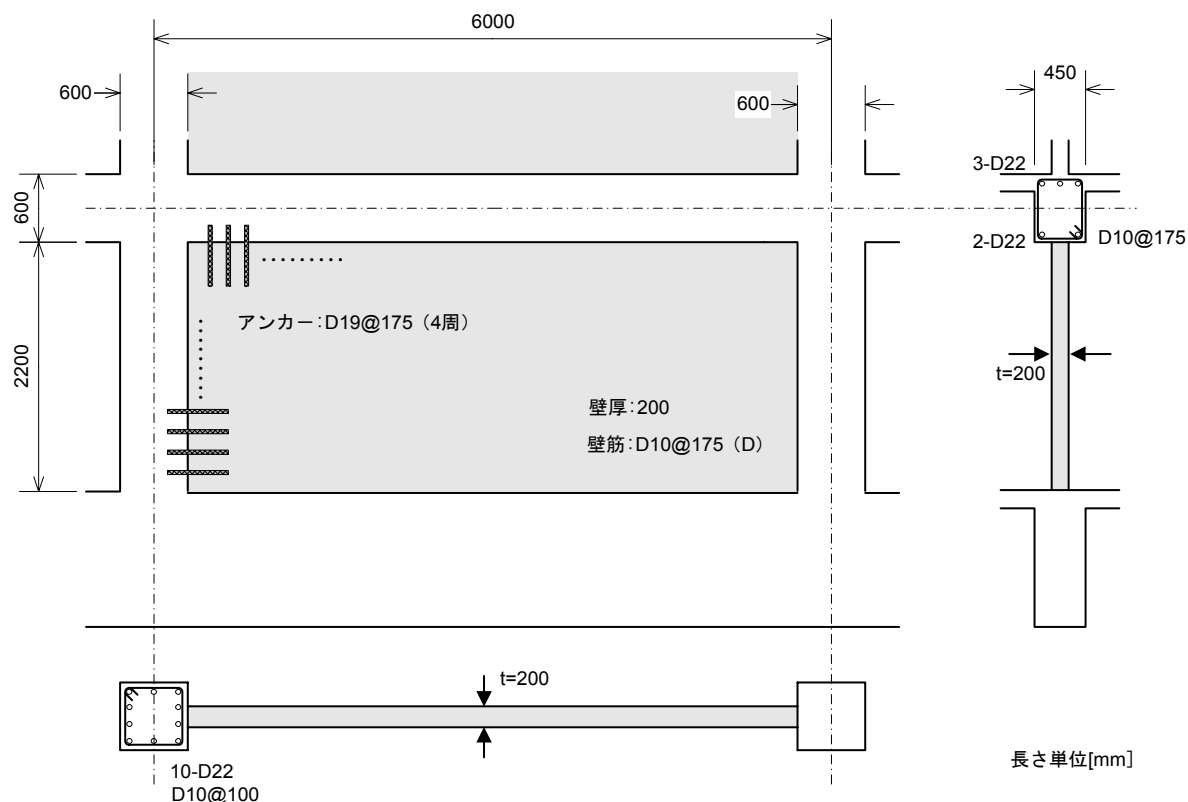


図4.1 補強部分の立面及び断面

〈既存躯体の材料強度等〉

- ・ 既存コンクリート圧縮強度： $\sigma_B=21$ N/mm²（本計算例では $F_c (=21)$ に等しいと仮定）

・既存コンクリートの短期許容圧縮応力度： $f_c=14 \text{ N/mm}^2$

・既存コンクリートの短期許容せん断応力度： $f_s=1.05 \text{ N/mm}^2$

・既存コンクリートのヤング係数： $E_c=3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{23}{24}\right)^2 \times \left(\frac{21}{60}\right)^{\frac{1}{3}}=2.17 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

・鉄筋の規格降伏点強度： $\sigma_y=345 \text{ N/mm}^2$ ($\geq \text{D16, SD345}$)、 295 N/mm^2 ($\leq \text{D13, SD295}$)

〈増設部分の材料強度等〉

・増設部分コンクリートの圧縮強度： $F_c=24 \text{ N/mm}^2$

・増設部分コンクリートの短期許容圧縮応力度： $f_c=16 \text{ N/mm}^2$

・増設部分コンクリートの短期許容せん断応力度： $f_s=1.11 \text{ N/mm}^2$

・増設部分コンクリートのヤング係数： $E_c=3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{23}{24}\right)^2 \times \left(\frac{24}{60}\right)^{\frac{1}{3}}=2.26 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

〈あと施工アンカー〉

・あと施工アンカーの種類：接着系アンカー

・アンカー筋の種類：SD345 ($\sigma_y=343 \text{ N/mm}^2$ 、 $a_e=287 \text{ mm}^2$)

・アンカー筋の種別：D19 ($d_a=19 \text{ mm}$ 、有効埋込み長さ $\ell_e=12 d_a$)

(2) 鉄筋コンクリート増設壁の Q_1 の算定

2.2.1項本文の(2.1)式を参照し、 Q_1 を算出する。

あと施工アンカーを用いた接合部(1本当たり)の許容せん断耐力を、1.2.1項の(解1.5)式及び指定書を参照し、次のように求める。

①鋼材で決定される Q_{a1} ：

$$Q_{a1}=0.7 \cdot \sigma_y \cdot a_e=0.7 \times 343 \text{ N/mm}^2 \times 287 \text{ mm}^2=68.9 \text{ kN/本}$$

②コンクリートの支圧で決定される Q_{a2} ：

$$Q_{a2}=0.4 \sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \cdot a_e=0.4 \times \sqrt{2.17 \times 10^4 \times 21} \times 287=77.5 \text{ kN/本}$$

よって、(解1.5)式より、 $Q_a=\min[Q_{a1}, Q_{a2}, 294 a_e]=\min[68.9, 77.5, 84.4]=68.9 \text{ kN/本}$ (鋼材の耐力で決定)となり、(解1.7)式より、接合部(1本当たり)の許容せん断耐力は次のように計算される。

$$Q_{a_s}=\frac{2}{3} Q_a=\frac{2}{3} \times 68.9=45.9 \text{ kN/本}$$

梁の内法長さ $\ell'=6000-600=5400 \text{ mm}$ 内に@175でアンカーを打設とした場合、鉄筋コンクリート増設壁の Q_1 は、(解2.1)式を参照し、次のように算出する。ただし、増設壁には開口を設けないもの($\gamma=1.0$)とした。

$$\text{打設本数 } n = \text{INT}[5400/175] = 30 \text{ 本}$$

$$\therefore Q_1=\min[\gamma \cdot t \cdot \ell \cdot f_s, \Sigma Q_{a_s}]=\min[1.0 \times 200 \times 6000 \times 1.11, 30 \times 45.9]=\min[1332, 1377]$$

$$=1332 \text{ kN}$$

(3) 鉄筋コンクリート増設壁の Q_2 の算定

2.2.1項本文の(2.1)式を参照し、 Q_2 を算出する。ここで、(2)と同様に $\gamma=1.0$ とする。

柱の応力中心間距離 j 、壁のせん断補強筋比 p_s 及び柱のせん断補強筋比 p_w は、次の数値となる。

$$j = \frac{7}{8}d = 473 \text{ mm } (d=540 \text{ mm})$$

$$p_s = (2\text{-D10} / t=200, @175) = 143/(200 \times 175) = 0.00408 \text{ (0.408\%)}$$

$$p_w = (2\text{-D10} / B=600, @100) = 143/(600 \times 100) = 0.00238 \text{ (0.238\%)}$$

従って、(2.3) 式及び (2.4) 式から、増設壁及びその周囲の柱の負担できる短期許容水平せん断力 (Q_w 及び Q_c) は、次の式によって計算した数値となる。

$$Q_w = p_s \cdot t \cdot \ell' \cdot f_t$$

$$= 0.00408 \times 200 \times 5400 \times 295 = 1300 \text{ kN}$$

$$Q_c = b \cdot j \cdot \{1.5f_s + 0.5f_t(p_w - 0.002)\}$$

$$= 600 \times 473 \times (1.5 \times 1.05 + 0.5 \times 295 \times (0.00238 - 0.002)) = 463 \text{ kN}$$

次に、図4.2を参照してはしあき、へりあき及び隣接するアンカー筋相互の影響を考慮した許容引張力 Ta を算定する。

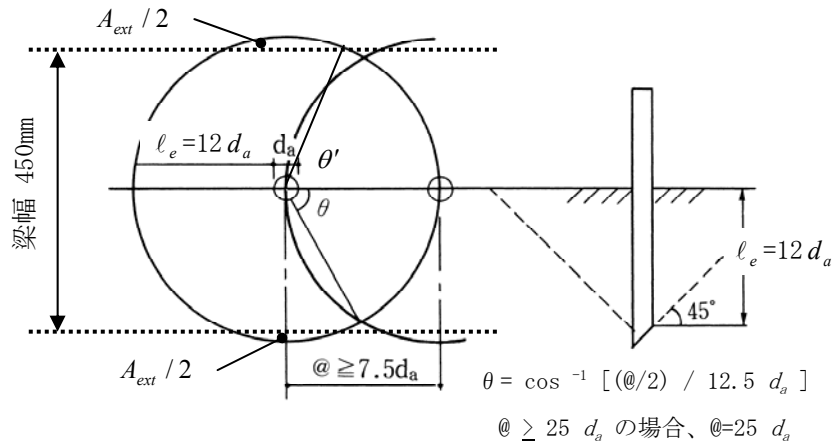


図4.2 あと施工アンカー接合部の有効投影面積

隣接するアンカーによるコーンの重なりを考慮した投影面積 A'_c に関して、

$$\theta = \cos^{-1}[(175/2)/12.5 \times 19] = 68.4^\circ$$

$$\therefore A'_c = \left(\pi - \pi \cdot \frac{\theta}{90} + \sin 2\theta \right) \cdot \left(\ell_e + \frac{d_a}{2} \right)^2 - \frac{\pi}{4} d_a^4$$

$$= \left(\pi - \pi \times \frac{68.4}{90} + \sin(2 \times 68.4) \right) \times \left(12 \times 19 + \frac{19}{2} \right)^2 - \frac{\pi}{4} \times 19^2$$

$$= 1.438 \times 56406.25 - 283.4$$

$$= 80829.0 \text{ mm}^2 \text{ (有効水平投影面積が梁幅内におさまる場合)}$$

図4.2に示したとおり、 $12.5d_a (=12.5 \times 19 = 237.5 \text{ mm}) > \text{梁幅の} 1/2 (=450/2 = 225 \text{ mm})$ であるので、梁幅外の面積 A_{ext} を A_c から以下の手順で減じる。

$$\theta' = \sin^{-1}[(450/2)/(12.5 \times 19)] = 71.3^\circ > \theta = 68.4^\circ$$

$$\therefore A_{ext} = \left[\pi \left(\ell_e + \frac{d_a}{2} \right)^2 \cdot \left(\frac{90 - \theta'}{360} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{b}{2} \right) \left(\frac{b}{2} \right) \tan(90 - \theta') \right] \times 4$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\pi \left(12 \times 19 + \frac{19^2}{2} \right) \times \left(\frac{90 - 71.3}{360} \right) - \frac{1}{2} \cdot 225^2 \tan(90 - 71.3) \right] \times 4 \\
&= 632.4 \times 4 \\
&= 2529 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

よって、

$$\begin{aligned}
A_c &= A'_c - A_{ext} = 80829 - 2529 \\
&= 78300 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

あと施工アンカーを用いた接合部（１本当たり）の許容せん断耐力を、1.2.1項の（解1.2）式及び指定書を参照し、次のように求める。

①鋼材で決定される Ta_1 :

$$Ta_1 = \sigma_y \cdot a_0 = 345 \times 287 = 99.0 \text{ kN}$$

②コーン状破壊で決定される Ta_2 :

$$Ta_2 = 0.23 \sqrt{\sigma_B} \cdot A_c = 0.23 \sqrt{21} \times 78300 = 82.5 \text{ kN}$$

③付着で決定される Ta_3 :

$$Ta_3 = 10 \sqrt{\sigma_B / 21} \cdot \pi \cdot d_a \cdot \ell_e = 10 \sqrt{21 / 21} \times \pi \times 19 \times (12 \times 19) = 136.0 \text{ kN}$$

よって、（解1.2）式より、 $Ta = \min[Ta_1, Ta_2, Ta_3] = \min[99.0, 82.5, 136.0] = 82.5 \text{ kN/本}$ （コーン状破壊で決定）となり、（解1.6）式より、接合部（１本当たり）の許容引張耐力は次のように計算される。

$$Ta_s = \frac{2}{3} Ta = \frac{2}{3} \times 82.5 = 55.0 \text{ kN}$$

従って、鉄筋コンクリート増設壁の Q_2 は、（2.1）式を参照し、次のように算出する。ただし、開口及びアンカー打設本数については、許容せん断耐力を求める場合と同じ（ $\gamma=1.0$ 及び $n=30$ ）とした。

$$\begin{aligned}
Q_2 &= \min[\gamma(Q_w + \Sigma Q_C), \gamma(\Sigma Ta_s + \Sigma Q_C)] = \min[1.0 \times (1300 + 2 \times 463), 1.0 \times (30 \times 55.0 + 2 \times 463)] \\
&= \min[2226, 2576] \\
&= 2226 \text{ kN}
\end{aligned}$$

（４）鉄筋コンクリート増設壁の許容水平せん断力 Q_A

（2.1）式より、鉄筋コンクリート増設壁の許容水平せん断力 Q_A は、次のとおり計算される。

$$\begin{aligned}
Q_A &= \max[Q_1, Q_2] = \max[1332, 2226] \\
&= 2226 \text{ kN}
\end{aligned}$$

4. 1. 2 枠付き鉄骨ブレースにより補強する場合

(1) 設計条件

図4.3及び図4.4に示すとおり、既存の柱梁架構内に鋼製枠付きの鉄骨ブレース架構を設置し、耐震補強とする計画である。部材寸法及び材料特性等を以下に示す。

〈部材寸法〉

- ・ スパン長さ : $\ell = 6000 \text{ mm}$
- ・ 階 高 : $h = 2800 \text{ mm}$
- ・ 内法長さ : $\ell' = 5400 \text{ mm}$
- ・ 内法高さ : $h' = 2200 \text{ mm}$
- ・ RC梁断面 : $b \times D = 450 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$
- ・ RC柱断面 : $b \times D = 600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ (主筋10-D22, SD345 / 帯筋D10@100, SD295)
- ・ 鉄骨枠のウェブ芯とRC部材のあきは200 mmとする。

〈枠付き鉄骨ブレース架構の仮定断面〉

- ・ ブレース : H-200×200×8×12
- ・ 外 枠 : H-200×200×8×12 (H型のフランジ一部カット)
- ・ 座屈止め : H-200×100×5.5×8

〈既存躯体の材料強度等〉

- ・ 既存コンクリート圧縮強度 : $\sigma_B = 21 \text{ N/mm}^2$ (本計算例では $F_c (=21)$ に等しいと仮定)
- ・ 既存コンクリートの短期許容せん断応力度 : $f_s = 1.05 \text{ N/mm}^2$
- ・ 既存コンクリートのヤング係数 : $E_c = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{23}{24}\right)^2 \times \left(\frac{21}{60}\right)^{\frac{1}{3}} = 2.17 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
- ・ 既存鉄筋の規格降伏点強度 : $\sigma_y = 345 \text{ N/mm}^2$ (SD345)、 295 N/mm^2 (SD295)

〈増設部分の材料強度等〉

- ・ 鋼材の基準強度 : $F = 235 \text{ N/mm}^2$ (SM400)
- ・ 圧入モルタルの設計基準強度 : $\sigma_M = 30 \text{ N/mm}^2$
- ・ スタッドの引張強度 : $\sigma_{\max} = 400 \text{ N/mm}^2$

〈あと施工アンカー〉

- ・ あと施工アンカーの種類 : 接着系アンカー
- ・ アンカー筋の種類 : SD345 ($\sigma_y = 343 \text{ N/mm}^2$, $a_e = 287 \text{ mm}^2$)
- ・ アンカー筋の種別 : D19 ($d_a = 19 \text{ mm}$ 、有効埋込み長さ $\ell_e = 12 d_a$)

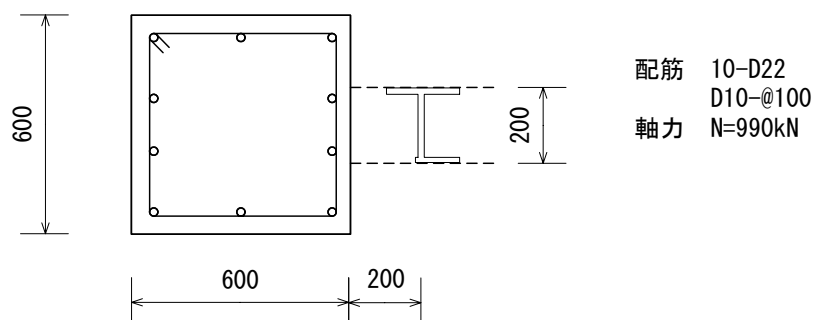


図4.3 既存柱の断面

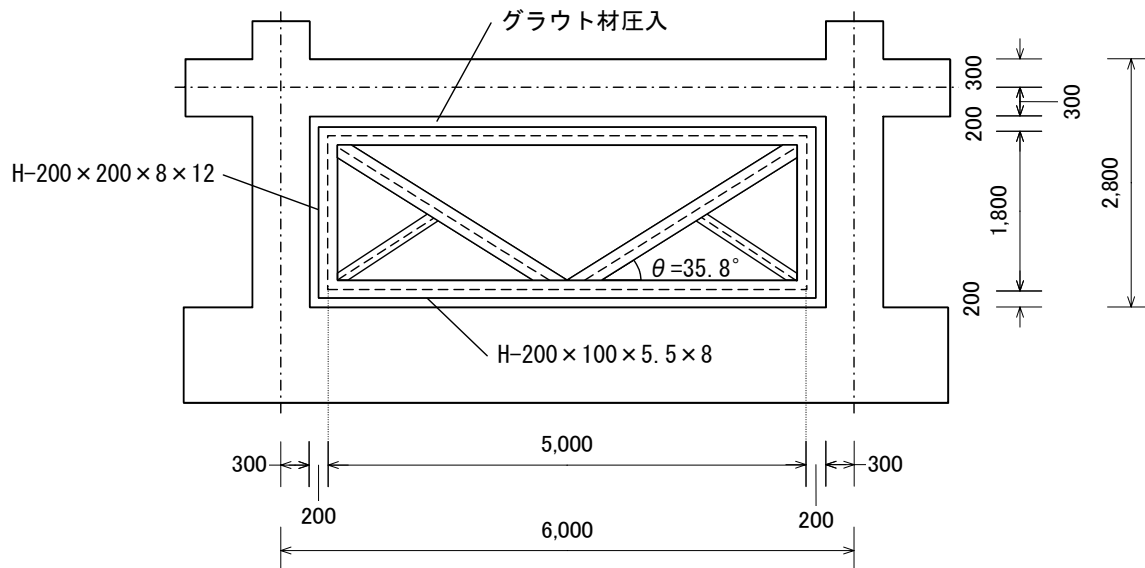


図4.4 既存RC架構と枠付鉄骨ブレース架構の主要寸法

(2) 鉄骨ブレースの短期水平許容せん断力の算定

2.2.1項本文の(2.7)式を参照し、ブレース材の短期に生ずる力に対する座屈の許容応力度より短期許容水平せん断力を算出する。

① ブレース材の断面性能

$$A_B = 6353 \text{ mm}^2, \quad i_x = 86.2 \text{ mm}, \quad i_y = 50.2 \text{ mm}$$

② ブレース材の座屈長さ

$$\ell_{kx} = \sqrt{1800^2 + 2500^2} = 3080.58 \dots \rightarrow 3081 \text{ mm}$$

$$\ell_{ky} = \ell_{kx} / 2 = 1540 \text{ mm}$$

③ ブレース材の細長比

$$\lambda_x = \ell_{kx} / i_x = 3081 / 86.2 = 35.7$$

$$\lambda_y = \ell_{ky} / i_y = 1540 / 50.2 = 30.7$$

④ ブレース材の限界細長比

$$\Lambda = \frac{1500}{\sqrt{F/1.5}} = \frac{1500}{\sqrt{235/1.5}} = 119.7 > \lambda = 35.7$$

⑤ ブレース材の短期に生ずる力に対する座屈の許容応力度 ($\lambda < \Lambda$ の場合：平成13年国土交通省告示第1024号第1第三号の規定による)

$$f_c = 1.5F \left(\frac{1 - \frac{2}{5} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2}{\frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} \right) = 1.5 \times 235 \times \left(\frac{1 - \frac{2}{5} \times \left(\frac{35.7}{119.7} \right)^2}{\frac{3}{2} + \frac{2}{3} \times \left(\frac{35.7}{119.7} \right)^2} \right) = 218.0 \text{ N/mm}^2$$

鉄骨ブレースの配置は左右対称のK型であるので、ブレース材の短期許容水平せん断力は(2.8)式を用いて次の式によって計算される。

$$2N_c \cos \theta = 2f_c \cdot A_B \cdot \cos \theta = 2 \times 218.0 \times 6353 \times \cos 35.8^\circ = 2247 \text{ kN}$$

(3) 接着系アンカーの短期許容せん断力 $\sum Q_{a_s}$

4.1.1項の鉄筋コンクリート増設壁と同様にD19シングル@175に配置するとして、接合部の許容せん断耐力を計算する。

$$\text{打設本数 } n = \text{INT}[5000/175] = 28 \text{ 本}$$

$$\therefore \sum Q_{a_s} = 28 \times 45.9 = 1285 \text{ kN}$$

(4) 頭付きスタッド（スタッドボルト）の短期許容せん断力 $\sum q_{as}$

あと施工アンカーと同じ間隔（@175）とし、16φ（ $a_s = 201 \text{ mm}^2$ ）ダブル配列とする。スタッドボルト（1本当たり）の短期許容せん断力は（解2.1）式及び（解2.2）式より計算する。

$$q_{as} = \frac{2}{3} \cdot 0.64 \sigma_{\max} \cdot a_s = \frac{2}{3} \times 0.64 \times 400 \times 201 = 34.3 \text{ kN/本}$$

$$\text{打設本数 } n = \text{INT}[5000/175] \times 2 = 56 \text{ 本}$$

$$\therefore \sum q_{as} = 28 \times 2 \times 34.3 = 1921 \text{ kN}$$

(5) 枠付き鉄骨ブレースの短期許容水平せん断力 Q_A

上記の結果から、枠付き鉄骨ブレースの短期許容水平せん断力 Q_A を次のとおり計算する。

$$Q_B = \min[2N_c \cos \theta, \sum Q_{a_s}, \sum q_{as}] = \min[2247, 1285, 1921] = 1285 \text{ kN (アンカーのせん断力で決定)}$$

$$Q_C = 463 \text{ kN (4.1.1項参照)}$$

以上から、(2.7) 式より

$$Q_A = Q_B + \sum Q_C = 1285 + 2 \times 463 = 2211 \text{ kN}$$

4. 2 連続繊維を用いた耐震補強の計算例

ここでは、短期許容せん断力及びせん断耐力が不足する柱に対して炭素繊維で補強する場合の計算例を示す。アラミド繊維に関しては適宜、炭素繊維の値を置き換えて算定することができるので、ここでは割愛する。

(1) 設計条件

〈補強対象柱〉

- ・RC柱断面： $b \times D = 450 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$ （主筋8-D22，SD345／帯筋D10@100，SD295）
- ・内法高さ： $h_0 = 2200 \text{ mm}$
- ・有効せい： $d = 650 \text{ mm}$
- ・腰壁・垂れ壁は取付いておらず、梁せいも通常サイズとする。
- ・作用外力：中柱を想定し、長期軸力＝地震時軸力 $N_s = 1800 \text{ kN}$ とする。また短期せん断設計用せん断力 Q_s は 375 kN とする。
- ・補強方法：炭素繊維シート（ 300 g/m^2 、3層巻付け）による。

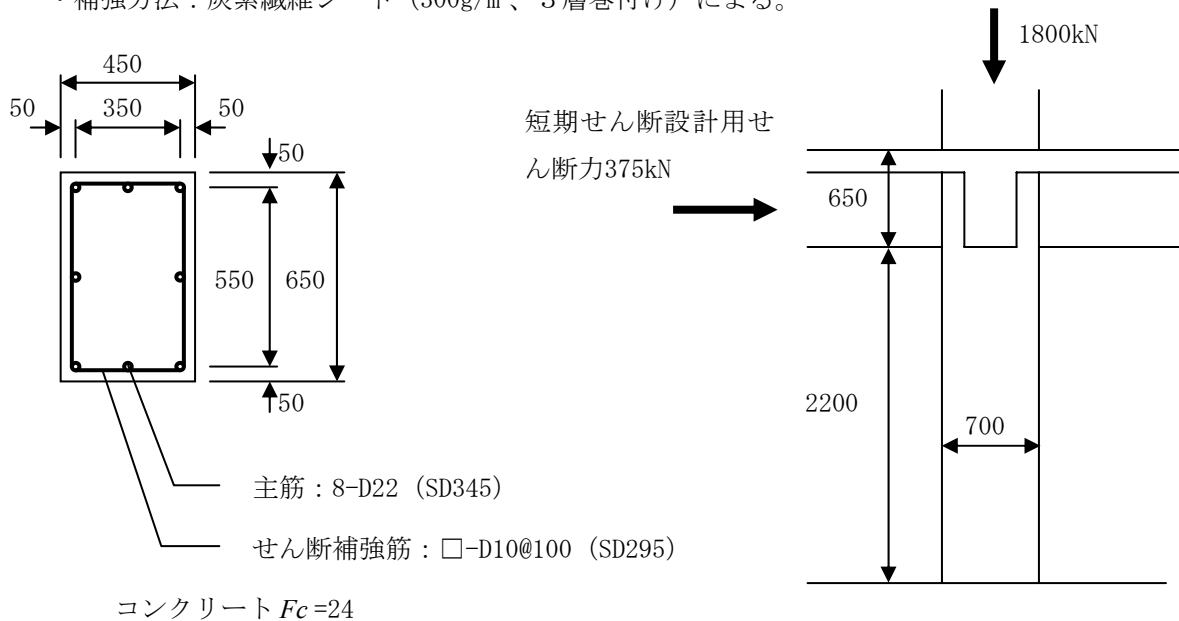


図4.5 補強対象柱の設計条件等

〈材料特性等〉

- ・既存コンクリート圧縮強度： $\sigma_B = 24 \text{ N/mm}^2$ （本計算例では $F_c (=24)$ に等しいと仮定）
- ・既存コンクリートの短期許容圧縮応力度： $f_c = 16 \text{ N/mm}^2$
- ・既存コンクリートの短期許容せん断応力度： $f_s = 1.11 \text{ N/mm}^2$
- ・既存コンクリートのヤング係数： $E_c = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{23}{24}\right)^2 \times \left(\frac{24}{60}\right)^{\frac{1}{3}} = 2.26 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
- ・鉄筋の基準強度： $F = 345 \text{ N/mm}^2$ （主筋D22，SD345）、 295 N/mm^2 （せん断補強筋D13，SD295）
- ・鉄筋のヤング係数： $E_s = 205 \text{ kN/mm}^2$

〈連続繊維〉

連続繊維の材料特性等は、指定書を参照して定めた数値とする。

- ・連続繊維の種類：炭素繊維（目付量300 g/m²）
- ・連続繊維のヤング係数： $E_f = 230 \text{ kN/mm}^2$
- ・連続繊維の引張りの材料強度： $F_{ft} = 0.007E_f = 0.007 \times 230 \times 10^3 = 1610 \text{ N/mm}^2$
- ・連続繊維の短期に生ずる力に対する引張の許容応力度： $f_{ft} = \frac{F_{ft}}{1.5} = \frac{1610}{1.5} = 1073 \text{ N/mm}^2$

（２）準備計算

〈補強対象柱〉

- ・ $h_0 / D = 2200 / 650 = 3.38$
- ・応力中心間距離 j （短期許容せん断力計算用）： $j = \frac{7}{8}d = \frac{7}{8} \times 600 = 525 \text{ mm}$
- ・応力中心間距離 j （せん断耐力計算用）： $j = 0.8D = 0.8 \times 650 = 520 \text{ mm}$
- ・軸応力度 σ_0 ： $\sigma_0 = N / (b \cdot D) = 1800 \times 10^3 / (450 \times 650) = 6.15 \text{ N/mm}^2$
- ・軸力比 η ： $\eta = \sigma_0 / Fc = 6.15 / 24 = 0.256$
- ・帯筋比 p_{ws} ：
 帯筋断面積（１組） $a_{ws} = 143 \text{ mm}^2$ 、帯筋間隔 $x = 100 \text{ mm}$
 $\therefore p_{ws} = a_{ws} / (b \cdot x) = 143 / (450 \times 100) = 0.00318 > 0.2\% \cdots \text{O.K.}$ （令第77条第四号）
- ・引張主筋比 p_t 、全主筋比 p_g ：
 引張主筋断面積 $a_t = 1161 \text{ mm}^2$ （3-D22）、全主筋断面積 $a_g = 3097 \text{ mm}^2$ （8-D22）
 $\therefore p_t = a_t / (b \cdot D) = 1161 / (450 \times 650) = 0.00397$
 $\therefore p_g = a_g / (b \cdot D) = 3097 / (450 \times 650) = 0.0106 > 0.8\% \cdots \text{O.K.}$ （令第77条第五号）

〈連続繊維〉

- ・炭素繊維シートのせん断補強筋比 p_{wf} ：
 炭素繊維シート１枚の厚さ $t_{wf0} = 0.167 \text{ mm}$ （目付量300g/m²より）
 炭素繊維シートの厚さ $t_{wf} = 0.167 \times 3 = 0.501 \text{ mm}$ （３層巻き）
 $\therefore p_{wf} = 2t_{wf} / b = 2 \times 0.501 / 450 = 0.00223$
- ・炭素繊維シートのせん断補強筋量 $p_{wf} \cdot \sigma_{wf}$ ：
 $p_{wf} \cdot \sigma_{wf} = 0.00223 \times 1610 = 3.58 \text{ N/mm}^2$
 上記せん断補強量 $p_{wf} \cdot \sigma_{wf}$ は、連続繊維シート補強の構造細則として2.3.3項本文5）に規定する
 最小補強量（ $0.04Fc = 0.96 \text{ N/mm}^2$ 以上かつ 0.8 N/mm^2 以上）を満足する。

（３）柱部材の短期許容せん断力 Q_{AS} の計算

2.3.1項を参照して補強された柱の検討を行う。

①補強前の柱の Q_{AS} ：

$$\begin{aligned} Q_{AS} &= b \cdot j \{ f_s + 0.5 p_{ws} f_t (p_{ws} - 0.002) \} \\ &= 450 \times 525 \times \{ 1.11 + 0.5 \times 295 \times (0.00318 - 0.002) \} \\ &= 303 \text{ kN} < Q_S = 375 \text{ kN} \quad (\text{N.G.}) \end{aligned}$$

②補強後の柱の Q_{AS} ：

設計用せん断力 Q_S に対して既存柱部材の短期許容せん断力 Q_{AS} が不足しているため、炭素繊維シートを用いて補強を行う。

$$\text{柱の有効せん断補強筋比 } e p_w = p_{ws} + p_{wf} \cdot \frac{E_f}{E_s} = 0.00318 + 0.00223 \times \frac{230}{205} = 0.00568 \cdots (2.10) \text{ 式}$$

$$\begin{aligned} \therefore Q_{AS} &= b \cdot j \{ f_s + 0.5 p_{ws} f_t (e p_w - 0.002) \} \cdots (2.9) \text{ 式} \\ &= 450 \times 525 \times \{ 1.11 + 0.5 \times 295 \times (0.00568 - 0.002) \} \\ &= 390 \text{ kN} > Q_s = 375 \text{ kN} \quad (O.K.) \end{aligned}$$

③連続繊維シートに生ずる応力度 σ_{fAS} :

柱の短期許容せん断耐力は十分に確保されたので、連続繊維の許容応力度の検討を行う。

$$\sigma_{fAS} = p_{ws} f_t \cdot \frac{E_f}{E_s} = 295 \times \frac{230}{205} = 331 \text{ N/mm}^2 < f_{ft} = 1073 \text{ N/mm}^2 \quad (O.K.)$$

(4) 柱部材の曲げ終局時せん断力 Q_{mu} の計算

補強前後で Q_{mu} は不変とする。柱頭・柱脚に塑性ヒンジが生じると仮定し、終局曲げモーメント M_u をもとに Q_{mu} を算出する。

①柱部材の終局曲げモーメント M_u :

$$\begin{aligned} M_u &= 0.8 a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5 N \cdot D \cdot (1 - \eta) \\ &= 0.8 \times 1161 \times 380 \times 650 \times 10^{-3} + 0.5 \times 1800 \times 650 \times (1 - 0.256) \\ &= 664112 \text{ kN mm} \end{aligned}$$

②柱部材の曲げ終局時せん断力 Q_{mu} :

$$\begin{aligned} Q_{mu} &= \frac{2M_u}{h_0} = \frac{2 \times 664112}{2200} = 603 \text{ kN} \\ \therefore \tau_{mu} &= \frac{Q_{mu}}{b \cdot j} = \frac{603}{450 \times 520} = 2.58 \text{ N/mm}^2 \\ \therefore \frac{\tau_{mu}}{Fc} &= \frac{2.58}{24} = 0.108 \end{aligned}$$

(5) せん断耐力 Q_{su} の計算

補強された柱の二次設計を2.3.2項を参照して行う。せん断耐力の計算は次の(2.13)式による。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_t^{0.23} (18 + F_c)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{ws} \cdot \sigma_{wy} + p_{wf} \cdot \sigma_{wf}} + 0.1 \sigma_0 \right\} b \cdot j$$

(補強前後で共通)

①第1項

$$\begin{aligned} M / Q &= h_0 / 2 = 2200 / 2 = 1100 \text{ mm} \\ \therefore M / (Q \cdot d) &= 1100 / 600 = 1.83 \cdots 1 \leq M / (Q \cdot d) \leq 3 \text{ を満足するため、数値をそのまま採用} \\ &\text{する。} \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{0.053 p_t^{0.23} (18 + Fc)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} = \frac{0.053 \times 0.40^{0.23} \times (18 + 24)}{1.83 + 0.12} = \frac{1.80}{1.95} = 0.921 \text{ N/mm}^2$$

②第3項

$$\sigma_0 = 6.15 \text{ N/mm}^2 < 7.8 \text{ N/mm}^2 \text{ であるので、} \sigma_0 \text{ はそのまま採用する。}$$

$$0.1\sigma_0 = 0.1 \times 6.15 = 0.615 \text{ N/mm}^2$$

〈補強に関する検討〉

③補強前…無補強の場合は p_w の制限 (1.2%以下) に注意する。

$$\text{第2項 } 0.85\sqrt{p_{ws} \cdot \sigma_{wy}} = 0.85 \times \sqrt{0.00318 \times 295} = 0.823 \text{ N/mm}^2$$

$$\therefore Q_{su} = \{0.921 + 0.823 + 0.615\} \times 450 \times 520 = 552006 \text{ N} = 552 \text{ kN} < Q_{mu} = 603 \text{ kN} \quad (\text{N.G.})$$

④補強後

$$p_{ws} \cdot \sigma_{wy} + p_{wf} \cdot \sigma_{wf} = 0.00318 \times 295 + 0.00223 \times 1610 = 4.53 \text{ N/mm}^2$$

補強量の上限值9.8 N/mm²以下であるので、数値をそのまま採用する。

$$\text{第2項 } 0.85\sqrt{p_{ws} \cdot \sigma_{wy} + p_{wf} \cdot \sigma_{wf}} = 0.85 \times \sqrt{4.53} = 1.809 \text{ N/mm}^2$$

$$\therefore Q_{su} = \{0.921 + 1.809 + 0.615\} \times 450 \times 520 = 782730 \text{ N} = 783 \text{ kN} > Q_{mu} = 603 \text{ kN} \quad (\text{O.K.})$$

(注)：ここでは計算例であるため、柱が柱頭・柱脚で曲げ降伏する場合を崩壊メカニズムとして想定した。実際には柱だけでなく梁も含めて検討し、崩壊メカニズム時の柱せん断力に対して柱のせん断耐力に余裕があるかどうかを確認しなければならない。

(6) 部材の靱性ランク

Ds判定基準に従って柱部材の靱性ランクを決定する。

補強後の $Q_{su} / Q_{mu} = 1.251$ (せん断破壊しない)

- $h_0 / D = 3.38 > 2.5$
- $\sigma_0 / Fc = 0.256 < 0.35$
- $p_t = 0.00397 < 0.008$ (0.8%)
- $\tau_{mu} / Fc = 0.108 > 0.1$ かつ < 0.125

以上より、部材ランクはFBとする。仮に、 $\tau_{mu} / Fc < 0.1$ ならば、FAランクにできるが、Dsの設定に当たっては、余裕を見てFBランクと考えてもよい。