

第3章 接合部等の設計・評価

3.1 設計の原則

既存 RC 造架構との接合部等が先行破壊せず、ダンパー部が有効に地震エネルギーを吸収できるよう、十分な強度と剛性を確保するとともに、ブレース材が既存 RC 造架構と一体として拳動し地震力に抵抗できる機構とする。

[解説]

本工法は、既存躯体の層間変位に伴って、ブレース材（ダンパー部の支持材，1.2 参照）に取り付けられたダンパー部が軸方向に変形し、小さい層間変位レベルでダンパー部が早期降伏し、有効にエネルギー吸収を行うことで最大応答量を低減させるものである。この低減効果を妨げる要因としては以下が考えられる。

- 1.地震応答中に、接合部およびブレース材が取り付く既存の構造部材，ブレース材が破壊し、ダンパー部に応力が伝達されない（補強部材の破壊モードの特定）
- 2.地震応答中に、接合部およびブレース材が取り付く既存の構造部材において損傷が発生し、層間変形に応じたダンパー部の軸方向変形が小さくなる（補強部材の破壊モードの保証、ロス変形の評価）

上記は、ダンパー部降伏前の変形レベルにおける接合部およびブレース材、およびブレース材が取り付く既存の構造部材の破壊モードと、ダンパー部が降伏した後のエネルギー吸収効率について検討する必要があることを示している。なお、ブレース材の想定される破壊は降伏や座屈である。

上記 1 番に関連する項目として、ダンパー部が降伏する前の変形における、接合部およびブレース材が取り付く既存の構造部材，ブレース材で想定する破壊について検討し、それらの強度とダンパー部の降伏強度を比較して、ダンパー部の降伏が先行するかについて検討することが必要である。

一方、上記 2 番に関連する項目として、ダンパー部が降伏した後、まずはダンパー部の上限強度がどの程度になるかについて検討し、その上限となる応力に対して、接合部およびブレース材が取り付く既存の構造部材，ブレース材の損傷程度を検討し、ダンパー部に設計時に想定した軸方向変形が生じているかを検討する必要がある。具体的には、ダンパー部が負担する上限強度に対して、接合部及びブレース材の強度がある余裕度を有しておくことが一つの対策となる。また、本工法はブレース材端部がピン機構、すなわちブレース材がほぼ軸方向力のみ負担するとみなせるものを対象としており、それによるダンパー部の軸方向のロス変形についても想定する必要がある。すなわち、ロス変形に応じてダンパー部の吸収する履歴面積が変化するため、ダンパー部が吸収できるエネルギー量を適切に評価する必要がある。ロス変形についての検討は付録 1 を参照されたい。

3.2 接合方法の種類

接合部の構造形式は、接合部に生じる応力に対して、「3.1 設計の原則」に示した性能を保証できる工法（構造実験などによって性能が確認されている工法など）によるものとする。

[解説]

接合部には、本補強工法が小さい応答変形レベルにおいてダンパー部を早期降伏させるのに必要な強度・剛性を有することに加え、接合部における変形のロスを極力小さくできる機構であることが求められる。一般的にあと施工アンカーなどを用いて補強材をRC躯体に間接接合する工法が使用されているが、本工法においては変形のロスを小さくするために、PC鋼棒を用いて直接接合させることを原則としている。

3.3 接合部およびブレース材が取り付く既存構造部材の強度評価および余裕度

(1) 一般事項

(a) 適用範囲

既存架構（構造部材端部または基礎部分）に、ダンパー部を有するブレース材を外付けで直接接合し、ブレース材の端部は、ダンパー部に生じる応力が軸力のみとみなせる工法の接合部の設計に適用する。

(b) 使用材料

・ PC 鋼棒

2章に定めた品質を確保する。また定着完了時のPC鋼棒の許容引張応力度は、下記の値のうち小さい方とする。

0.70×PC鋼棒規格引張強度

0.80×PC鋼棒規格降伏点強度

・ 定着具

第2章に定めた性能を確保する。

・ グラウト材

第2章に定めた品質を確保する。

(c) 既存架構のコンクリート強度

既存架構のコンクリート強度は原則として18MPa以上とする。ただし、実験などにより安全性が確かめられたものについてはこの限りではない。

(2) 設計方針

本工法において接合部には、ダンパー部が早期に降伏して地震応答中に有効にエネルギー吸収を行うために必要な強度を与える。

(3) 設計強度および必要な安全余裕度

ダンパー降伏以外に生じる接合部およびブレース材が取り付く既存構造部材の破壊を防止するために、以下の破壊モードの耐力に対して必要な余裕度を与える。

(a) RC 構造部材のねじれ耐力

(b) RC 造梁部材の面外曲げ耐力

(c) 定着板の曲げ耐力

- (d) 定着板の浮き上がり耐力
- (e) グラウト材のせん断耐力
- (f) グラウト材と既存 RC 造部材間の摩擦耐力
- (g) コンクリートの許容支圧耐力

(4) 構造規定

- ・ グラウト材と接する既存 RC 造部材面は、十分な目荒らしおよびワイヤーブラシによる表面処理を行い、付着強度（摩擦係数）の増大を図る
- ・ 用いるグラウト材の強度は、設計基準強度が既存架構のコンクリート強度以上で良好な流動性を有し、既存架構との付着力を確保するためブリージングが無く、硬化時に適度の膨張を発生させる
- ・ 定着具及び PC 鋼棒は腐食防止に有効な保護処理を施す
- ・ 配置する PC 鋼棒は複数とし、原則として 4 本以上とする

[解説]

(1) 設計方針

PC 鋼棒やグラウトは、既存架構とダンパーブレース端部との間の応力伝達により生じるせん断力に対して、定着板のずれ変形、浮き上がり変形、グラウトのせん断変形、履歴ダンパーを取り付けた RC 構造部材のねじれ変形が過大にならない(すなわち履歴ダンパーが降伏して十分にエネルギー吸収する際に接合部が破壊しない)よう設計する。また、RC 架構の応答変形量に基づき、履歴ダンパーに期待する軸歪みを想定して、履歴ダンパーの応力を適切に定め、接合部の設計を行う。ただし低降伏点鋼等の引張強度のレンジ中央値を用いた場合にはこの限りではない。

(2) 設計強度

以下に示すそれぞれの式で耐力を算定できる。

a. RC 造構造部材のねじれ耐力

下記の式(解 3.3.1)は、既存架構から軸力を受けない梁部材を対象とした場合の耐力式^{3.1)}である。従って、柱に適用する場合は作用する軸力の効果を評価する必要がある。一般に圧縮軸力が作用する場合、ねじれ耐力は以下の式で得られる値より大きいと思われるが、その効果は十分に検証されていないため、安全側に評価するために以下の式をそのまま準用する。一方で、引張軸力が作用する場合は、以下の式で得られる値より小さいねじれ耐力となるため、引張軸力が作用する部分に本式を適用することはできないことに留意されたい。

$$T_{uo} = 1.01 \frac{b^2 D}{\sqrt{b}} \sqrt{F_c} + \left(0.66m + 0.33 \frac{d_0}{b_0} \right) \frac{A_0 \cdot a_v \cdot \sigma_{vy}}{s} \quad (\text{Nmm}) \quad (\text{解 3.3.1})$$

ただし、

T_{uo} : 終局ねじれモーメント、 b : 部材幅、 D : 部材せい、 F_c : コンクリート設計基準強度、 m : せん断補強筋量に対する軸方向筋量の比 ($=p_1 \cdot \sigma_{ly}/p_v \cdot \sigma_{vy}$)、 d_0 : 長辺側のせん断補強筋中心間長さ、 b_0 : 短辺側のせん断補強筋中心間長さ、 A_0 : せん断補強筋の中心線で囲まれたコアコンクリートの面積、 a_v : せん断補強筋断面積、 σ_{vy} : せん断補強筋の

降伏強度、 σ_y ：軸方向鉄筋の降伏強度、 p_l ：軸方向鉄筋比 ($=a_l/b \cdot D$)、 p_v ：せん断補強筋比 ($=a_v \cdot l_{pv}/B \cdot D \cdot s$)、 a_l ：軸方向鉄筋の全断面積、 l_{pv} ：せん断補強筋の中心線で囲まれた周長

また梁部材に適用する場合においても、ブレース材の取り付け角度に応じてブレース材から接合部に対して、梁軸方向に応力が生じる。圧縮軸力が作用する場合は、ねじれ耐力は式(解 3.3.1)で安全側に評価できるが、大きな引張軸力が作用する場合は式(解 3.3.1)で必ずしも安全とは言えない。既往の実験では、梁軸方向に対して 45 度傾けた実験がほとんどである。また文献 3.2)では、梁軸方向に対して 30 度傾け、ブレース応力に対して梁に作用する軸力が卓越する試験体においては、計算より小さいねじれ耐力となることが示されている。従って、梁軸方向に対して 45 度より小さい角度で取り付けるような場合は別途、ねじれに対する検討が必要になる。

b. RC 造構造部材の面外曲げ耐力

ブレース材を梁部材に取り付けた場合、ダンパー部の負担軸力の水平成分により面外曲げモーメントが作用する。通常の耐震設計においては梁の面外曲げ耐力を求めることは稀であるが、本工法においてはそれを式(解 3.3.2)で求める。ただし式中の a_t や D にはスラブの協力分を考慮してよい。また軸力 N については、ダンパー部の負担水平力を考慮することが必要である。

$${}_cM_u = 0.8 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5 \cdot N \cdot D \cdot \left(1 - \frac{N}{b \cdot D \cdot F_c} \right) \quad [N \cdot mm] \quad (\text{解 3.3.2})$$

ただし、

a_t ：引張鉄筋断面積 (mm^2)、 σ_y ：引張鉄筋の降伏強度 (N/mm^2)、 D ：部材せい (mm ，この場合は幅)、 b ：部材幅 (mm ，この場合はせい)、 N ：軸力 (N)

c. 定着板の曲げ耐力 (定着板の板厚の算定)

定着板の板厚の検討は、日本建築学会「高力ボルト接合設計施工ガイドブック」(2003.12)による高力ボルト引張接合の設計に準拠して行う。ここで仮定する応力状態を解図 3.3.1 に示す。定着板は浮き上がりが生じないように PC 鋼棒により圧着接合されていることから材間圧縮力が一様に分布しており、引張側 PC 鋼棒位置とガセットプレート間は両端固定梁的挙動を示すと考える。従って、定着板の板厚に関する検討は以下のように行う。

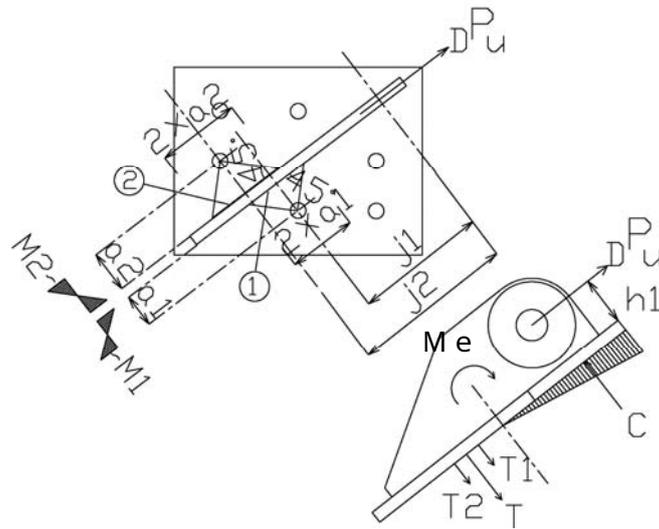
断面の板厚 T_{p1}

$$M_1 = \frac{T_1 \cdot a_1}{2} \quad (\text{解 3.3.3})$$

$$\frac{M_1}{Z_p} \leq f_b \quad (\text{解 3.3.4})$$

ここで、 T_1 ：PC 鋼棒に作用する引張力 ($T_1 = \frac{a_2}{a_1 + a_2} \cdot T$)

$$Z_{p1}：\text{検討断面の断面係数} \left(Z_{p1} = \frac{2 \cdot a_1 \cdot b_E \cdot t_p^2}{6} \right)$$



解図 3.3.1 定着板の曲げ検討モデル

式(解 3.3.3)(解 3.3.4)より、断面の板厚 t_{p1} は式解(3.3.6)より求める。また、同様にして断面の板厚 t_{p2} は式解(3.3.7)より求める。定着板の許容曲げ応力度 f_b は建築学会鋼構造規準のベアリングプレートなど面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度に基づく。

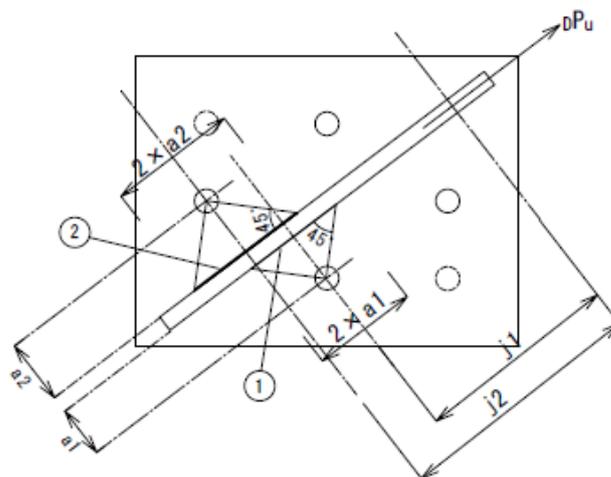
以上のことから、偏心曲げによって生じる定着板の曲げ応力度が定着板の短期許容曲げ応力度以下になるように、定着板の板厚 t_p は解図 3.3.2 を参照して下式により決定する。

$$t_p \geq \max(t_{p1}, t_{p2}) \quad (\text{解 3.3.5})$$

$$t_{p1} = \sqrt{\frac{3 \cdot T \cdot a_2}{2 \cdot (a_1 + a_2) \cdot f_b}} \quad (\text{解 3.3.6})$$

$$t_{p2} = \sqrt{\frac{3 \cdot T \cdot a_1}{2 \cdot (a_1 + a_2) \cdot f_b}} \quad (\text{解 3.3.7})$$

ここに、 t_{p1} ：検討断面の板厚、 t_{p2} ：検討断面の板厚、 T ：PC 鋼棒に作用する引張合力(= M_e/j)、 M_e ：偏心曲げモーメント(= $D P_u \times h_1$)、 j ：応力中心間距離(= $(j_1 + j_2)/2$)、 f_b ：定着板の短期許容曲げ応力度(= $F/1.3 \times 1.5$)、 h_1 ：定着板面からピン孔中心までの距離



解図 3.3.2 定着板の曲げ検討モデル

d. 定着板の浮き上がり耐力

ダンパー部が負担する軸力によって、定着板底面にはモーメントが作用し、PC 鋼棒の緊張力によって抵抗する。この場合、取り付け角度によって作用するモーメントが異なるため、梁および柱の材軸方向について検討することとする。ただし、どちらか一方で安全性を把握できる場合は、その一方を検討しておけばよい。

$$M_{ul} = e \cdot Q_{ul} = e \cdot Z \cdot n_{pc} \cdot N_{pc} / (h \cdot A) \quad (\text{Nmm}) \quad (\text{解 3.3.8})$$

Q_{ul} : 定着板浮上り耐力(N)

Z : 定着板底面の断面係数(mm³)

n_{PC} : 取付けた PC 鋼棒の本数

N_{PC} : PC 鋼棒 1 本当たりの有効緊張力(N)

h : フェイス位置からブレースピンまでの距離(mm)

A : 定着板の底面積(mm²)

有効緊張力は特別な検討を行わない場合、プレストレス有効率として 0.85 を用いてよい。ただし、取り付ける RC 部材の幅が小さい場合や用いるグラウト材のクリープ性状が大きい場合などについては上記有効率を 0.8 程度に低減することが望ましい。

e. グラウトのせん断耐力

ダンパー部が負担する軸力によって、定着板裏面にはせん断力が作用する。その際、定着板が滑らないよう底面には解図 2.2.9 に示すコッターが施されている。このコッターに接するグラウトは圧縮応力を受ける。そこで、グラウト材のせん断耐力 Q_{Gs} は、プレキャスト RC 部材接合部の設計式 3.3) を参考に、シアキーの支圧耐力と圧縮軸力下の摩擦抵抗の累加式として式(解 3.3.9)で与える。

$$Q_{Gs} = n_{sky} \cdot Q_{sky} + Q_{sl} \quad (\text{解 3.3.9})$$

Q_{Gs} : グラウトのせん断破壊耐力(N)

n_{sky} : コッターの個数

Q_{sky} : コッターの支配耐力で決まる値(= $A_p \cdot \sigma_G \cdot (1+\gamma)$)

A_p : コッターの支配面積(mm²) (解図 2.2.8 参照)

σ_G : グラウトの圧縮耐力(N/mm²)

γ : 圧縮耐力による耐力増加割合(= $3.55 \sqrt{\sigma_N / \sigma_G}$)

σ_N : 接合面に生じる圧縮軸応力度(N/mm²)

f. グラウト面と RC 架構境界面の摩擦耐力

$$Q_{sl} = \mu \cdot n_{pc} \cdot N_{pc} \quad (\text{N}) \quad (\text{解 3.3.10})$$

Q_{sl} : 滑り耐力時のブレース応力(N)

μ : 摩擦係数 0.63 (文献 3.6 参照)

n_{PC} : 取付けた PC 鋼棒の本数

g. コンクリートの許容支圧耐力

$$P_0 = p \times A \quad (\text{解 3.3.11})$$

p : 許容支圧応力度 (< 2/3Fc)

A：支圧面積

プレストレス圧着力は定着具(ブレース材を取り付ける既存 RC 造部材の他方の側面に設ける鋼板)を経てコンクリートに伝わるので、定着具直下のコンクリートは局所的な圧縮力を受ける。このため、この圧縮応力度の検定を行わなければならない。コンクリートの許容支圧応力度 f_n は、学会 PC 規準および外側耐震改修マニュアル^{3,4)}に準拠し下式で算出する。

$$f_n = 0.6F_c \sqrt{\frac{A_c}{A_1}} \quad (\text{解 3.3.12})$$

ここで、同式中の A_c (支承面積) および A_1 (支圧表面積) を定着具面積 A とすれば $\sqrt{A_c/A_1}$ は 1 となる。支圧応力度 p は、PC 鋼棒の導入緊張力 P_0 を定着具面積 A で除して求め、これが f_n 以下であることを確かめる。

(3) 必要な安全余裕度

(a) RC 造構造部材のねじれ耐力

(2) で示したねじれ耐力式(解 3.3.1)について、これまでの実験研究^{3,2)}が行われており、ここではそれらを参考に以下の値を提案する。

接合部の設計を行う上で接合部に発生する応力を把握することは重要である。既往の研究^{3,2)}において、RC 梁端部とブレース端部接合部を再現した 8 体の試験体に対して要素実験が実施されている。解表 3.3.1 に各試験体の概要を示す。

解図 3.3.3 に、ねじれ余裕度 R_t の結果を、RC 造架構試験体と要素試験体を併せて示す。ここで、 R_t は実験で得られた最大ねじれ耐力 M_{tuo} に対する計算ねじれ耐力 T_{uo} (解 3.3.1) の比を算定したものであり、破壊モードに至らないことを保証するための必要な安全余裕度である。

$$M_{tuo} = e \cdot P_{dmax} \cdot \cos \phi \quad (\text{解 3.3.13})$$

ここに、 e : 梁材芯からブレース端部までの偏心距離(m)

P_{dmax} : 実験時ブレース最大荷重(kN)

ϕ : ブレース取付角度(°)

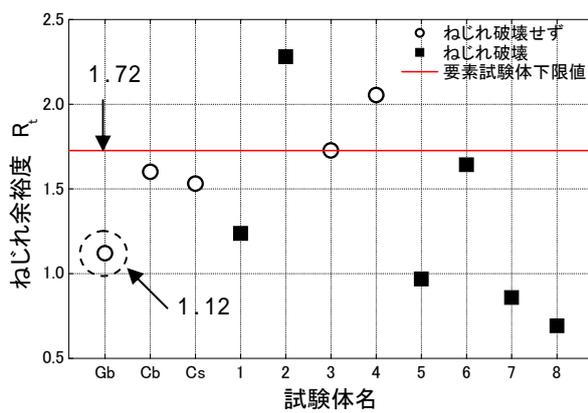
過去の要素試験体の結果では、ねじれ破壊が起こらなかった試験体 3 の余裕度である 1.72 を下限値としてねじれ余裕度と定めていた。しかし、文献 3.5 に示された試験体 Gb は最終的に梁端部がねじれ破壊に至っていない。また、スラブ付きの試験体 8 の結果からスラブが付くことによって多少耐力が上昇する効果も確認されているが、その効果は大きくはない。そこで、梁が降伏する場合には、前述の試験体 Gb の余裕度である 1.12 程度(解図 3.3.3 中の波線)を保証すれば接合部が破壊する状態までには至らないと考えられる。しかしながら、解図 3.3.4 で示すように接合部の損傷が大きくなることでねじれ回転角が 1/100rad. 以降大きくなり、その結果、ロス変形が全体的に増大し、エネルギー吸収性能が低下することが想定される。このように応答塑性率が大きく、かつね

じれ余裕度が低い梁部材に取り付けるような場合においては、ダンパーのエネルギー吸収性能を小さく見積もるなどバランスのとれた評価が求められる。

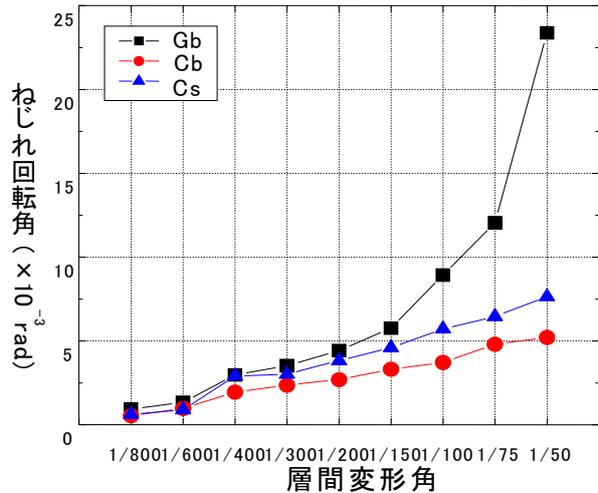
一方で、梁が降伏しない場合には、解図 3.3.3 に示す試験体 Cs の余裕度である 1.5 以上あればよい。ちなみにたれ壁のねじれ抑制効果はここでは無視している。

解表 3.3.1 要素試験体概要

試験体	スラブの有無	破壊性状
1,2,5~7	無し	ねじれ破壊
8	有り	
3,4	無し	ねじれ破壊に至らず



解図 3.3.3 各試験体の梁のねじれ余裕度



解図 3.3.4 梁部材のねじれ挙動

(b) RC 造梁部材の面外曲げ耐力

面外曲げ耐力については、(解 3.3.2) 式自体のばらつきはさほど大きくないため、現行の構造関係技術基準解説書に準じて取り付くスラブの有効幅として 1m 程度を想定した曲げ耐力を用いることとし、(解 3.3.2) 式を用いた場合の余裕度は既存 RC 造部材の強度のばらつきを考慮して 1.1 倍以上とする。

(c) 定着板の浮き上がり耐力 (d) グラウト材のせん断耐力 (e) グラウト材と既存 RC 造部材間の摩擦耐力 (f) コンクリートの許容支圧耐力の余裕度については、現時点においては技術資料が十分ではないため、(解 3.3.3) ~ (解 3.3.6) 式を用いた場合は、施工時の精度のばらつきなどを勘案し、原則として 1.2 倍以上の余裕度を有することとする。ただし、実験など詳細な方法で安全性が確認された場合はその限りではない。

(4) 構造規定

- ・ グラウトと接する既存 RC 造架構面は十分な目荒らしおよびワイヤーブラシによる表面処理を行い、付着強度 (摩擦係数) の増大を図る。
- ・ 用いるグラウトの強度は、設計基準強度が 30MPa 以上 (最低、既存 RC 造架構のコンクリート強度以上) で良好な流動性を有し、既存架構との付着力を確保するためブリ

ージングが無く、硬化時に適度の膨張を発生させる。

- ・ 定着板及び PC 鋼棒は腐食しないよう適切な処理を施す。
- ・ PC 鋼棒は複数本とする（4 本以上を推奨）。

3.4 既存架構などの安全性評価

地震応答中に生じるダンパー部の応力を負担するブレース材が取り付く既存構造部材・基礎および地盤については、それらの安全性を評価する。

解説案：

(1) RC 上部構造部の安全性の検討

接合部以外の RC 躯体については、ダンパーが負担する応力に対する反力を負担することになるため、柱部材については長期軸力や地震による変動軸力に加えて、当該反力を加えた応力に対して部材の破壊モードや軸力保持能力などの構造安全性を検討する必要がある。

(2) 基礎地盤の安全性の検討（接地圧と基礎スラブなど）

既存 RC 躯体(上部構造物)に、本マニュアルで対象とするダンパー補強を行った場合、長期軸力や地震力による変動軸力に加えて、ダンパー部の負担応力が柱部材を介して、基礎構造ならびに地盤に伝達される。その際に、圧縮応力を負担する基礎スラブや接する地盤において圧縮破壊が生じないことを確認する必要がある。

参考文献

- 3.1) 向井智久、石田陽一、石井匠、田中豊延、井戸建介、北村春幸：「梁端部のねじれ挙動を考慮した外付け制振補強 RC 架構に関する実験的研究」、日本建築学会構造系論文集 584 号、pp.139-146、2004.10
- 3.2) 箕輪田翔、長谷川隆、森田高市、向井智久、石井匠、佐藤大樹、北村春幸：「外付け制振補強における RC 造梁部材とダンパーブレースとの接合部要素実験」日本建築学会関東支部研究報告集、pp.165-168、2008.3
- 3.3) 中野克彦、松崎育弘：「プレキャスト RC 部材接合面におけるせん断抵抗要素の耐力累加方法」、日本建築学会構造系論文報告集、No.550、pp.151-158、2001.12
- 3.4) 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」2002.9
- 3.5) 住岡良紀、向井智久、北村春幸、佐藤大樹：「RC 架構を対象とした外付け制振工法の補強効果に関する研究」、日本コンクリート工学年次論文集、Vol31、NO.2、pp.1441-1446、2009.7
- 3.6) 石田陽一、向井智久、石井匠、北村春幸：「繰り返し斜め載荷下における制振ブレースを外付けした RC 造の梁端部および取り付け部の破壊性状と評価手法」、日本コンクリート工学年次論文集、Vol25、NO.2、pp.1321-1326、2003.7