

U型補強筋を配した免震基礎接合部に関する実験的研究

増田 圭司 佐々木 聡
鈴木 泉

概 要

免震部材と RC 造の躯体の接合部は、突起付き袋ナット、頭付きスタッドを有するアンカープレートを用いて行われることが多い。この場合、免震部材とアンカープレートは袋ナットを介してボルト接合により、アンカープレートと RC 部は突起付き袋ナット、頭付きスタッドにより接合される。施工的には基礎立ち上がり部が後打ちとなり、打ち継ぎ部が発生する。近年、この打ち継ぎ部を含む免震基礎接合部が、設計時に想定された構造性能を発揮しない場合があることが指摘されている。

この種の接合部の構造性能を確認した実験は少ないのが現状である。構造的に非常に重要な部位であることから、施工性と構造性能の両立した構法を提案した。また、突起付き袋ナットに関してもその力学性能が確認された例が少ない。そこで、この接合部について要素及び接合部の加力実験を行い、構造性能を確認した。

Experimental Study on Connections between Isolators and RC foundations Installed Reinforced U-shape bar

Abstract

The Connections between isolators and RC foundations are often made by using anchor plates comprising hexagon cap nuts and studs with a head. In this case, the isolators and anchor plates are connected by bolt joints, and the anchor plates and RC foundation are connected by studs with a head and hexagon cap nuts. As part of the construction process, placing joint parts are created. Recently, it has been realized that the placing joint parts themselves influence the structural performance.

It is therefore necessary to achieve a balance between workability and structural performance. Two different types of experiments were carried out to clarify the structural performance of this system – element tests and model scale tests.

キーワード: 免震建物 基礎 突起付き袋ナット
接合部 要素実験 補強筋

§1. はじめに

1.1 背景

免震部材と RC 造の躯体の接合部は、現場での施工性を考慮して突起付き袋ナット、頭付きスタッドを有するアンカープレートを用いて行われることが多い。この場合、免震部材とアンカープレートは袋ナットを介してボルト接合により、アンカープレートと RC 部は突起付き袋ナット、頭付きスタッドにより接合される。施工的には基礎立ち上がり部は後打ちとなり、打ち継ぎ部が発生する。近年、この打ち継ぎ部が構造性能に影響を及ぼすことが指摘されている^{1),2)}。そこで、施工性と構造性能の両立した構法を提案した。

この種の接合部の構造性能を確認した実験は少ないが、構造的に非常に重要な部位である。また、突起付き袋ナット(以下、袋ナットと記す)に関してもその力学性能が確認された例が少なく、安全側の評価がなされている³⁾。そこで、この接合部について構造性能を確認するために、要素及び接合部の加力実験を行った。

1.2 提案した構法

図1に提案した \cap 型補強筋形式の構法概要を示す。この補強筋形式は、施工性の向上と力学性能確保の両立を目指したものである。 \cap 型の補強筋と2本の八角形リング補強筋で構成され、リング補強筋と袋ナット(突起部)には施工性を考慮して25mmのクリアランスが確保されている。袋ナットに生じる曲げ引張応力による打ち継ぎ部の剥離の防止を目的に \cap 型補強筋を配し、また袋ナットから \cap 型補強筋への応力伝達を行うコンクリートを拘束する目的で内外に2つの八角形リング補強筋を用いる。これにより確実な応力伝達を目指した機構である。

§2. 要素実験

2.1 概要

免震基礎接合部に用いられる突起付き袋ナットの

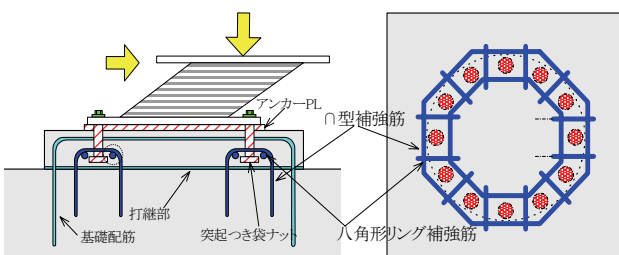


図1 提案する工法の概念図

引抜耐力は文献 1)によるアンカーの設計に準拠している現況にあり、引抜耐力に関して実験的に検証した例は少ない^{2),4)}。またこの接合部には打継ぎ部が設けられることが多く、曲げとせん断応力の伝達性能に与える影響が懸念される。ここでは提案した補強筋形式による免震部材接合部の構造性能を1箇所の袋ナットとその周辺部を取り出した要素実験について示す。主として袋ナットの定着強度および各補強筋の効果、打継ぎ部の影響について検討する。

2.2 試験体

試験体一覧を表1に、代表的な試験体の形状を図2に示す。試験体のスケールは M33 の取り付けボルトおよび $\phi 60\text{mm}$ 、定着部径 $\phi 120\text{mm}$ の袋ナットを想定した実大(CR-1)およびその 1/2 スケールとする。試験体は \cap 型補強筋のない C シリーズ、 \cap 型補強筋の配置された RS シリーズ、打継ぎのある BS シリーズの計 10 体である。

C シリーズでは試験体スケールおよび袋ナットの埋込長さを実験変数としている。RS シリーズは \cap 型補強筋およびリング筋を配したモデルであり、 \cap 型補強筋の配置間隔を 82mm、150mm、300mm とした。また RS-15-D13 では \cap 型補強筋の径を D13 とした。BS シ

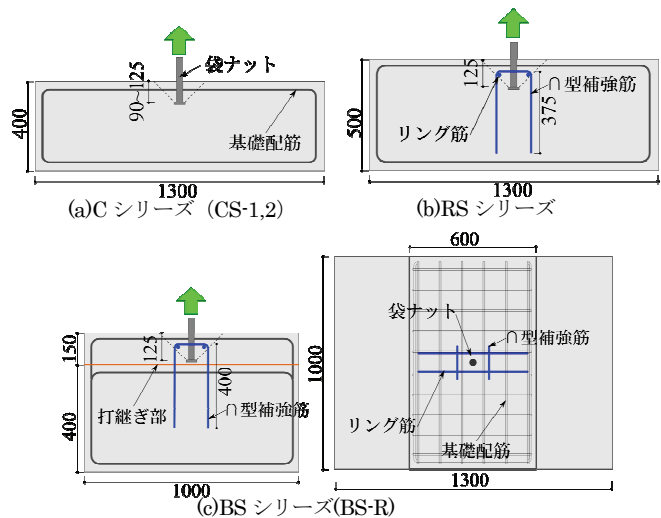


図2 要素実験試験体形状

表1 要素実験試験体一覧

	試験体名	スケール	袋ナット径	埋込長さ	\cap 型補強筋 サイズ	\cap 型補強筋 間隔	打継ぎ部
Cシリーズ	CR-1	1/1	$\phi 60$	250	—	—	なし
	CS-1	1/2	$\phi 30$	125	—	—	
	CS-2			90	—	—	
RSシリーズ	RS-08	1/2	$\phi 30$	125	D6	82	なし
	RS-15			125	D6	150	
	RS-30			125	D6	300	
	RS-15-D13			125	D13	150	
BSシリーズ	BS-N	1/2	$\phi 30$	125	—	—	有り
	BS-R			125	D6	150	
	BS-O			125	D6	500	

リーズには打継ぎ部を設け、打継ぎ面ではグリースとビニールシートにより付着を取り除いた。BS-N は補強筋のないモデル、BS-R は□型補強筋のあるモデル、BS-O は□型補強筋の間隔が広いモデルである。

2.3 使用材料

実験には袋ナットの代わりに図 3 に示す突起部を有する鋼棒を用いた。袋ナットの降伏を防ぐため、中実の高強度の材料とした。コンクリートは $F_c=24$ の普通コンクリートを使用した。鋼材および鉄筋の機械的性質を表 2 に、コンクリートの力学的性質を表 3 に示す。



図 3 要素実験用袋ナット

表 2 鋼材および鉄筋の力学的性質

	鋼種	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)
袋ナット	S45C	574.3	882.7	18.9
D6	SD295A	365.0	501.5	15.4
D10	SD295A	338.2	473.1	13.3
D13	SD295A	335.9	467.9	17.0

表 3 コンクリートの力学的性質

圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	適用
25.1	2.87	CR,CSシリーズ
23.9	2.74	RSシリーズ,BSシリーズ

2.4 加力及び測定

試験体の袋ナット上部をカプラーにて PC 鋼棒と接続し、センターホールジャッキを用いて片振幅の漸増繰返し载荷を行った。引張力はジャッキに取り付けたロードセルにより計測した。袋ナットの抜出し変位は底面からピアノ線を用いて計測した。各試験体共に耐力の低下と破壊が明瞭となった時点で载荷を終了した。

2.5 実験結果

表 4 に実験結果一覧を、図 4 に各シリーズのコーン状破壊耐力の計算値により基準化した引張力 (T/cT) と袋ナットの抜出し変位 (δ) の関係を示す。なお、コーン状破壊耐力は(1)式による。

$$cT = \phi_1 \times 0.31 \sqrt{\sigma_B} \times Ac \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Ac = \pi(\ell + D_n / 2)^2$$

ただし、 ϕ_1 :係数(=1.0)、 σ_B :コンクリートの強度、 ℓ :袋ナットの定着長さ、 D_n :袋ナット突起部の径、である。

C シリーズにおいて最大引張力は計算値に対し 0.9~1.2 であり、また短期許容荷重である $T/cT=2/3$ 付近では袋ナットの抜出しがわずかに生じているものの、ひび割れは発生していない。従って、袋ナットを用いた場合でも(1)式によりコーン状破壊耐力を概ね評価できると考えられる。

表 4 実験結果一覧

試験体名	最大引張力	最大引張力時の抜出し変位	破壊モード	コーン状破壊耐力計算値	
	T_{max} (kN)	δ_{max} (mm)		cT (kN)	(T_{max}/cT)
CR-1	379	0.66	コーン破壊	422	(0.90)
CS-1	126	0.77	コーン破壊	105	(1.20)
CS-2	71	0.61	コーン破壊	60	(1.18)
RS-08	131	1.90	コーン破壊	103	(1.27)
RS-15	111	1.13	コーン破壊	103	(1.08)
RS-30	107	1.26	コーン破壊	103	(1.04)
RS-15-D13	134	1.64	コーン破壊	103	(1.30)
BS-N	72	13.54	曲げ破壊	103	(0.70)
BS-R	101	2.87	コーン破壊	103	(0.98)
BS-O	94	3.45	コーン破壊	103	(0.91)

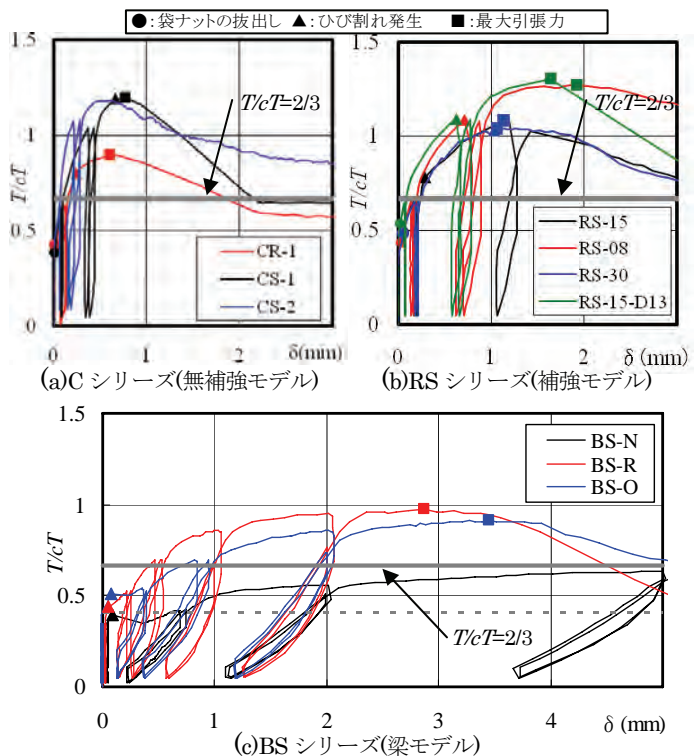


図 4 引張力ー抜出し変位関係

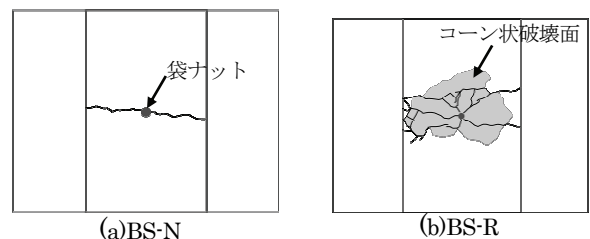


図 5 ひび割れ図

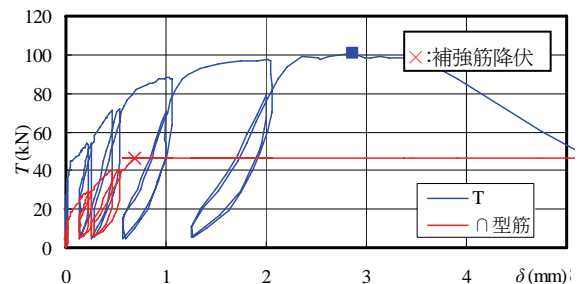


図 6 □型補強筋の負担軸力(BS-R)

RS シリーズにおいて、 \cap 型補強筋が袋ナットに近い場合や \cap 型補強筋の径が大きい場合には、最大引張力が大きくなる傾向にあるが、最大引張力は計算値に対し 1.0~1.3 であり、補強筋の有無に関わらず概ね計算値で評価できる。最大引張力時の拔出し変位は、 \cap 型補強筋のないCシリーズと比較して大きい。これは \cap 型補強筋の効果と考えられる。

BS シリーズにおいては BS-N の最大引張力/計算値が 0.70 と他のモデルより小さい。BS-N では、打ち継ぎ面の剥離防止に有効な \cap 型補強筋がないため、基礎上端配筋の曲げ引張降伏が先行し、他と異なる基礎後打ち部の曲げ破壊モードを示したと考えられる。補強筋のある BS-R、BS-O ではそれぞれ 0.98、0.91 であり、コーン状破壊に至った。図 5 にひび割れ図を示す。BS-N では曲げひび割れのみが拡大した

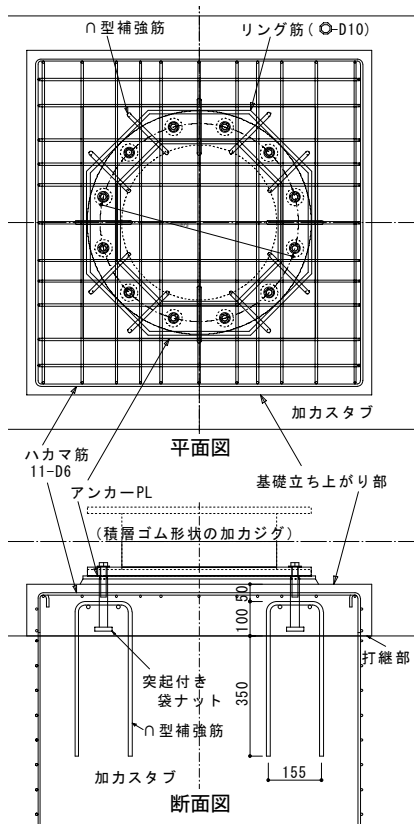


図 7 試験体形状

表 5 試験体緒元

基礎立ち上がり部	
寸法	1000×1000×150
コンクリート強度	$F_c=24\text{N/mm}^2$
ハカマ筋	X、Y方向とも:11-D6
\cap 型補強筋	12 \cap -D10
リング補強筋	2 ϕ -D10 八角形溶接閉鎖形
打継部	深さ3mm程度の目荒らし
アンカー-PL部	
取付ボルト	12-M16×90 (強度区分10.9)
アンカープレート	PL-9×675×675
突起付き袋ナット	ϕ 30×140 + ϕ 50×12(定着プレート)
充填材	無収縮モルタル:厚さ15mm

が、BS-R では曲げひび割れの発生後、放射線状にひび割れが広がりコーン状破壊が発生した。図 6 に BS-R の \cap 型補強筋の負担軸力を示す。载荷開始時から \cap 型補強筋の軸力は増大し、5割程度の負担となる。 \cap 型補強筋が袋ナット近傍に配置された場合、打継ぎが存在しても(1)式により評価できる。

§3. 接合部の加力実験

3.1 実験概要

ここでは接合部の試験体を用いた構造性能確認実験について示す。実験は免震部材の下部接合部を想定する。試験体は3体、すべて同一である。実験のパラメータは加力条件とし、各加力条件における耐力と破壊モードを確認する。

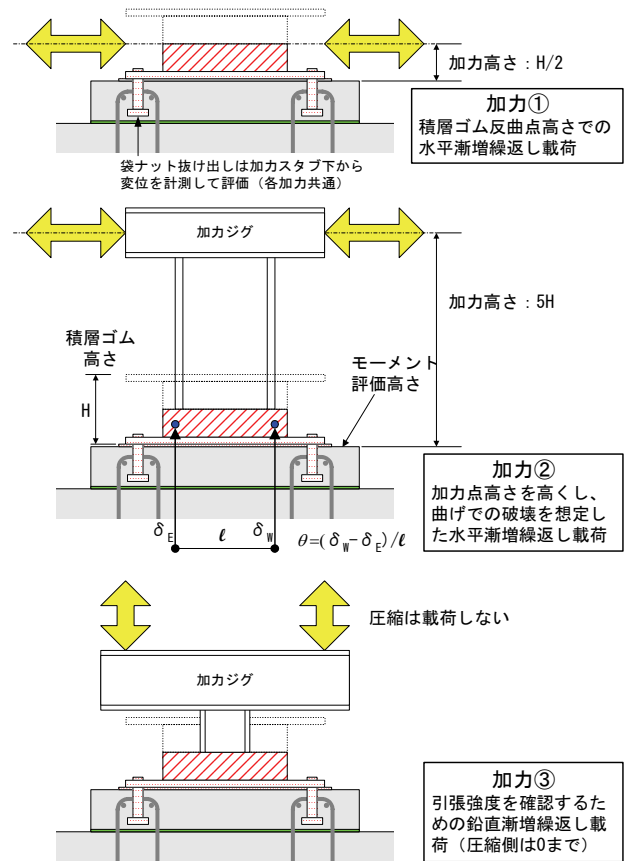


図 8 加力方法

表 6 鋼材および鉄筋の力学的性質

形状寸法	規格	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	適用
PL-9	SS400	312.4	465.1	アンカープレート
PL-12		337.8	456.3	定着プレート (袋ナット部)
ϕ 50		331.8	485.4	袋ナット部
D6	SD295A	333.8	495.3	ハカマ筋など
D10		338.2	473.1	\cap 型補強筋
D10		350.0	504.1	八角形リング筋
M16	強度区分10.9	1132.3		取付ボルト

表 7 コンクリートの力学的性質

	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 ($\times 10^4$ N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	適用
基礎上部 コンクリート	25.1	2.408	2.78	加力①
	25.1	2.476		加力②
	25.9	2.459		加力③
アンカー-PL下 無収縮モルタル	70.0	2.692	-	加力①
	83.5	2.631	-	加力②
	84.0	-	-	加力③

3.2 試験体

試験体の諸元を表5に、試験体の形状寸法を図7に示す。試験体はφ900積層ゴムの下部接合部を想定した縮尺1/2モデルである。通常の施工を想定して基礎立ち上がり部に打ち継ぎを設けている。試験体製作時、基礎立ち上がり部にはあらかじめハカマ筋、⊃型補強筋、リング筋を配筋し、加力スタブ(実建物では基礎、基礎梁に相当)を打設、次に突起付き袋ナットを固定したアンカーPLを設置して基礎立ち上がり部を打設した。その後、アンカーPL下に無収縮モルタルを充填した。

3.3 使用材料

使用材料の機械的性質を表6、7に示す。アンカープレート、袋ナットはSS400とし、鉄筋はD6~D10(SD295A)、ボルトは強度区分10.9を用いた。コンクリートはFc24を想定し、σ_Bで25~26N/mm²程度となった。

3.4 加力方法

図8に加力①~③の概念図を示す。加力①は積層ゴムの1/2高さでの水平漸増繰返し载荷である。積層ゴム上下の固定度を十分確保した場合に想定される状態である。加力②は加力点高さを高くし、曲げ破壊による破壊モードを確認する実験であり、加力③は引張強度を確認する実験である。

3.5 実験結果

1) 荷重-変形関係

図9に加力①のせん断力-水平変位関係を、図10に加力②の基礎天端モーメント-回転角θ(図8参照)関係を、図11に引張力-鉛直変位関係を示す。

加力①においては設計用せん断力(積層ゴムのせん断ひずみ250%時のせん断力の1.2倍)の1.6倍付近から、積層ゴムを模擬した加力ジグのフランジとアンカーPL間ですべり始め、その後剛性が低下し変形が進み、水平変位3.5mm付近でボルト破断により耐力が低下した。加力②では回転角1/500radで袋ナットが抜け出しはじめ、その後、基礎立ち上がり部に放射上のひび割れが生じ、⊃型補強筋が降伏し、1/200radで最大耐力となった。その後はモーメントが低下した。加力③では最初に袋ナットが抜け出しはじめ、次に⊃型補強筋が降伏し、基礎立ち上がり部にひび割れが生じ、最大耐力に至った。その後は引張力が低下した。

2) 最大耐力の評価

表8に各試験の最大耐力と計算値の対応を示す。加

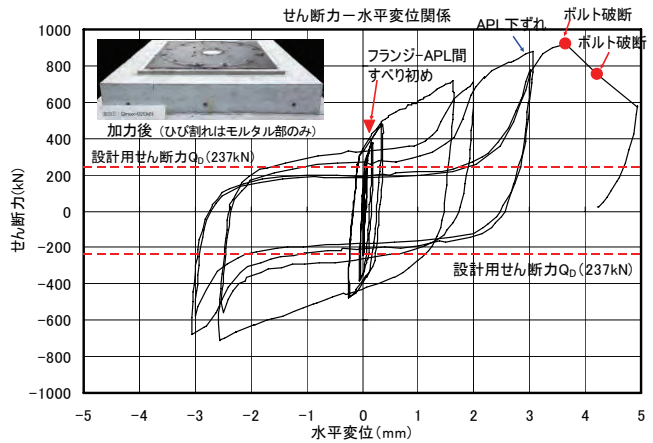


図9 せん断力-水平変位関係(加力①)

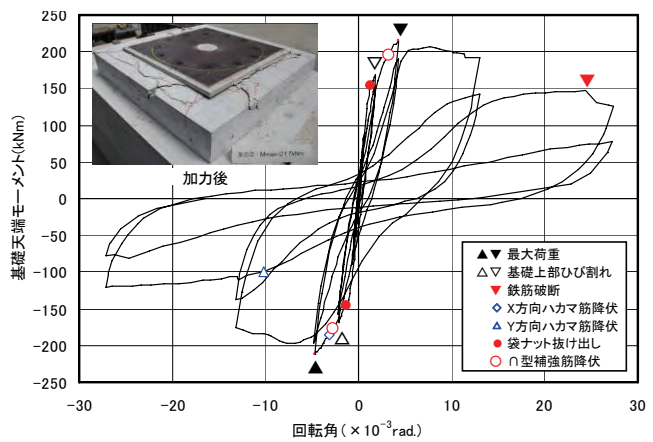


図10 基礎天端モーメント-回転角関係(加力②)

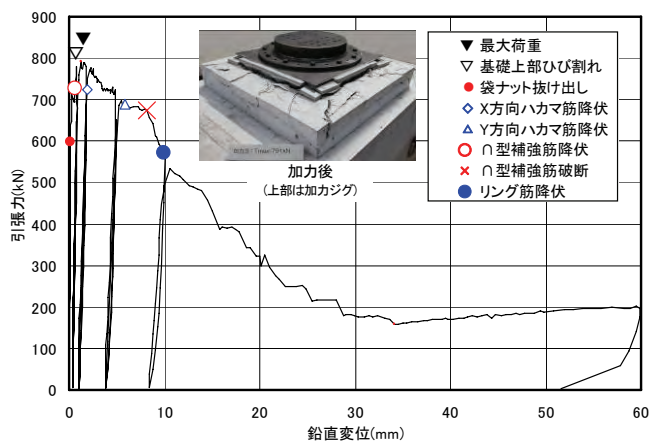
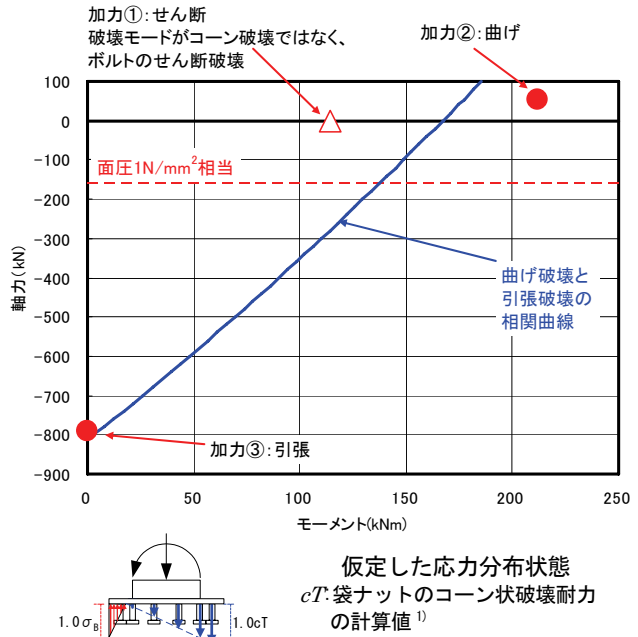


図11 引張力-鉛直変位関係(加力③)

表8 実験時の最大耐力と計算値

	N(kN)	Qmax(kN)	Mmax(kNm)	計算値	計算条件
加力①:せん断	0	920	114	Q _u = 923 kN	ボルトのせん断耐力
加力②:曲げ	55	-	212	M _u = 170 kNm	コーン状破壊耐力と ストレスブロックによる評価
加力③:引張	791	-	-	T _u = 812 kN	コーン状破壊耐力

力①はボルトのせん断破壊であり、締め付け時の軸応力の影響を考慮したボルトせん断強度の総和として評価した計算値と、実験値がほぼ一致した。加力②は図 12 に示すように、袋ナットの最大耐力((1)式による)とストレスブロックを仮定して計算値を求めた。計算値は実験値に対してやや小さめである。これは、引張側の袋ナットの応力を線形分布と仮定したが、実際には要素実験結果に示すように \cap 型補強筋の効果により脆性的な挙動が改善され、袋ナットの応力が仮定よりも増加したためと考えられる。加力③は袋ナットのコーン状破壊耐力の総和として評価した計算値と実験値がほぼ対応した。袋ナットのコーン状破壊が脆性的な挙動であれば、応力再配分があまり行われず、実験値はこの計算値よりも小さくなると考えられるが、補強筋の効果により脆性的な挙動が改善され、実験値と計算値がほぼ対応したと考えられる。



計算に用いる各部の応力	
ストレスブロック (圧縮側)	袋ナット (引張側)
最外端を σ_B とし、中立軸との間で線形分布を仮定	最外端を cT とし、中立軸との距離に応じて線形分布を仮定

§4. まとめ

提案した \cap 型補強筋形式の免震基礎接合部の構造性能を、要素実験、接合部の加力実験を用いて確認した。本実験により得られた知見を以下に示す。

要素実験

- (1) 突起付き袋ナットのコーン状破壊耐力は文献 1) による計算値で概ね評価できる。
- (2) 袋ナット近傍に補強筋を配した場合、コーン状破壊耐力が若干上昇し、最大引張力時の拔出し変位が大きくなる。
- (3) 打継ぎ部に補強筋を配することで、打継ぎ部の剥離による曲げ破壊を抑制し、コーン状破壊耐力を確保することができる。その際、袋ナット近傍に打継ぎ部の剥離に伴う曲げひび割れが生じても、袋ナット近傍に補強筋が配していれば、コーン状破壊耐力が大きく低下することはない。

接合部の加力試験

- (1) 免震部材接合部のせん断耐力は、軸応力の影響を考慮したボルトせん断強度により評価できる。
- (2) 免震部材接合部の曲げ耐力は、隣り合う袋ナット同士の有効水平投影面積を考慮したコーン状破壊耐力と、ストレスブロックを用いて求めた曲げ破壊と引張破壊の相関曲線により評価できる。
- (3) 免震部材接合部の引張耐力は、隣り合う袋ナット同士の有効水平投影面積を考慮したコーン状破壊耐力の和により評価できる。

図 12 軸力-モーメント関係と耐力の比較

参考文献

- 1) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 2010
- 2) 広瀬他: 免震装置基礎躯体定着アンカー引張試験(その1, その2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.471-474, 2004
- 3) 社団法人日本免震構造協会: 免震部材の接合部・取付け躯体の設計指針, 2009.7
- 4) 浅田他: 免震鉛ダンパー接合用アンカーボルトの引抜き挙動に関する基礎実験, 日本建築学会構造系論文集, pp.661-669, 2010

ひとこと

免震構法の研究開発を進めている中で、接合部の設計・施工に疑問を感じ、このテーマを提案しました。この構法が Best とは思いませんが、実務において接合部についても重要性を認識して頂ければと思います。



増田 圭司