

ディスク型接合金物の耐震性能に関する実験的研究

Experimental Study on Seismic Capacity of Disk Type Metal Connectors

朴 相俊¹⁾ 北島 佐奈英¹⁾ 沢田 祐里奈¹⁾ 神谷 隆²⁾

金城学院大学生活環境学部¹⁾

矢作建設工業株式会社 地震工学技術研究所²⁾

キーワード：ディスク型接合金物、耐震性能、荷重－変位曲線

SangJun Park¹⁾ Sanae Kitajima¹⁾ Yurina Sawada¹⁾ Takashi Kamiya²⁾

Kinjo Gakuin University, College of Human Life and Environment¹⁾

Yahagi Construction Co., Ltd, Earthquake Engineering Technical Institute²⁾

Keywords : Disk Type Metal Connectors, Seismic Capacity, Load-Displacement Curves

Abstract

While large-scale earthquakes are recently reported all over the world, a huge loss of lives and property damages occur in buildings for which seismic design was not applied.

In Japan, many seismic retrofits are developed as a construction method, which raises the safety of the building in case of an earthquake. In recent years, seismic retrofits in Korea have been attracting attention as a construction method, which raises the safety of the building in case of an earthquake. In Korean school facilities, a lot of external seismic retrofit methods of construction are adopted. However, enough consideration may not have been given to the transmission of the force between the existing frame and reinforcement frame.

In addition, in order to spread the seismic retrofitting of buildings, it is important that the retrofits are easily constructed. So, in this paper, we confirmed seismic capacity using the disk type metal connector that simplified a general connecting form for the purpose of the seismic design of Korean buildings.

1. はじめに

近年では、世界各地で大地震が発生している。その被災などから、世界的に公共機関の建築物の耐震性が注目されており、安全面や防災面を高める必要があると考えられている¹⁾。また、構造安全性だけでなく、美観や環境への配慮、省エネルギー等も含めた機能性、経済性、施工性に優れた構法が望まれ、既存建物に対して多様な耐震補強の方法が提案されてい

る。特に、耐震性能が不足する既存RC建物の耐震補強において、既存のRC躯体に耐震補強要素を付加する場合、騒音、振動などの工事環境の改善、工期短縮等の要求を満たし、従来型の接合構法に優る剛性とせん断強度を有する工法の開発が進められている²⁾。

現在韓国では、将来的に大震災が起こる可能性が否定できないことから、公共施設物の耐震化が行われている³⁾。韓国の学校建築物の多くはRC 架構に戸境壁や腰壁・たれ壁として煉瓦が組積されている構造形式⁴⁾で、こういった学校建築物の耐震性能を検証する明確な基準が規定されておらず、実際の耐震設計においては、煉瓦壁の重量、強度および剛性等を設計者が個々に判断し構造設計が行われている状況である。特に、韓国の学校施設に外側からの耐震補強工法が採択されて施工されているものの、既存架構と補強架構間の力の伝達について十分な考慮がなされていない場合があり、実際に被災した際には補強効果を発揮できない恐れがある。これらの状況を踏まえて筆者らは、韓国の学校建築物の耐震性能を把握し、簡単に補強部材を取付けることができる耐震補強工法を提案すると共に、その耐震性能を確認することとする。これまで韓国の学校建築物の耐震性能を把握することを目的として、韓国の学校建築物を構成している構造材であるコンクリートおよび鉄筋、間仕切り壁を採取して材料特性の検証を行なった¹⁾。その結果、柱から採取したコンクリートの圧縮強度は $18\text{N}/\text{mm}^2$ 程度、鉄筋の降伏応力度は $350\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の耐力を有していた。よって、構造体を構成するRCフレームの材料特性は比較的日本の標準的な建物に近い状態であるものと推測される。しかし、間仕切り壁の材料特性および壁の力学特性についての検証結果についてはサンプル数が少ないことや、煉瓦壁の性能に大きく影響する目地モルタルの実際の充填率などによる調査は行えていないことから、間仕切り壁の性能を把握するためには更なる検証を深める必要があることを確認した。また、韓国の既存学校建築物は、これまで耐震設計が行われていないことから日本と同様に耐震性が低い状況のものがあるものと想定し、耐震補強を行う必要があるものと考えられる。

これらの状況を踏まえて、韓国建物の耐震補強ではできる限り開口部が閉塞されることなく、採光や動線を確保できるフレーム補強を採用する。また、補強部材を既存躯体に接合する際には、既存躯体と補強部材との間における力学性状が明確なアンカー^{5), 6)}を用いることで、施工面およびコスト面において大幅な改善ができるものと考えられる。ここで、図-1に施工の概要図を示す。ディスク型接合金物を介して力の伝達を行い、補強部材から発生する水平力をベースプレートが負担し、既存躯体と補強部材との偏芯に伴って発生する引き抜き力を引き抜き用のアンカーで負担するといった応力伝達機構である。本報告では、韓国建物の耐震化普及を目的として、一般的な接合形式を簡略化したディスク型接合金物を用いた耐震性能実験を行う。また、得られた実験耐力と既存に提案されている計算耐力式^{7), 8), 9)}との比較・検討を行う。

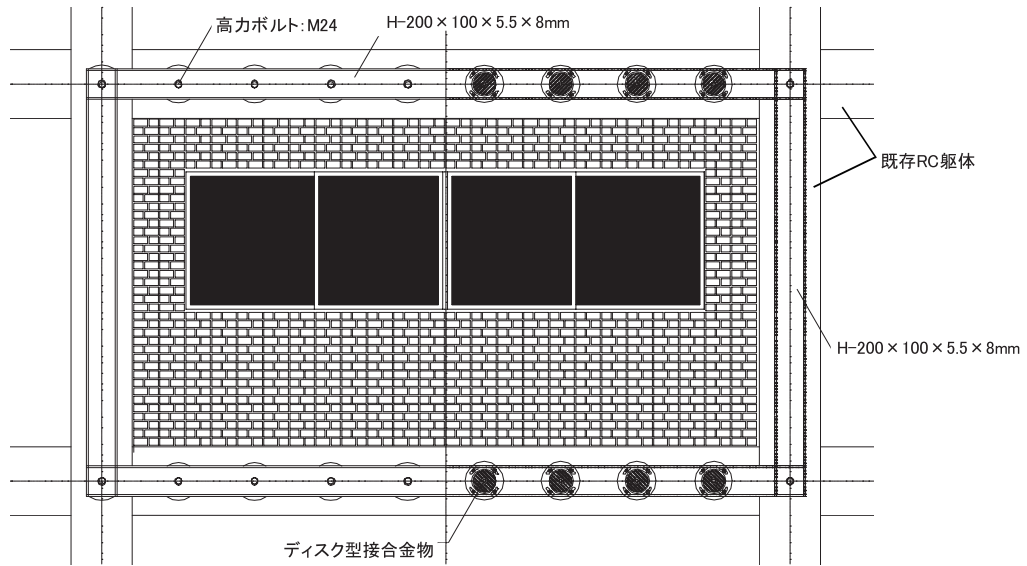


図-1 施工の概要図

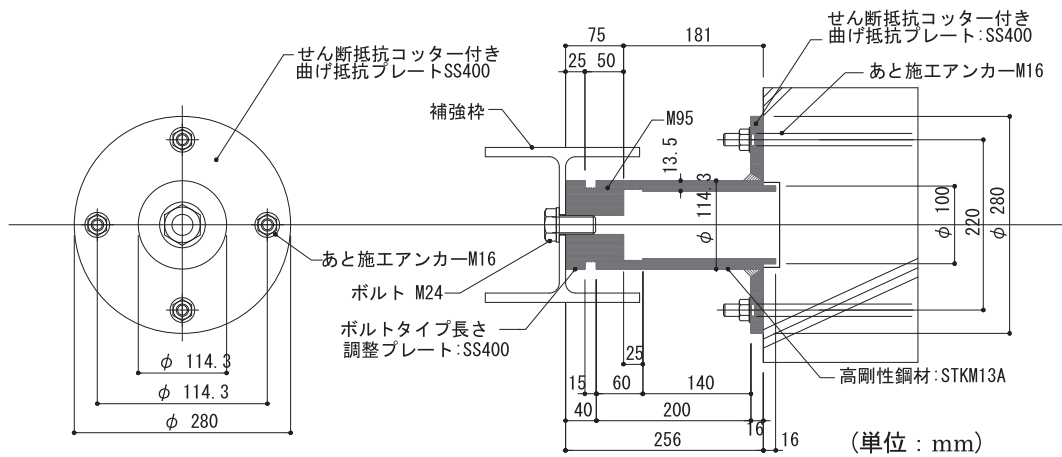


図-2 ディスク型接合金物の詳細図

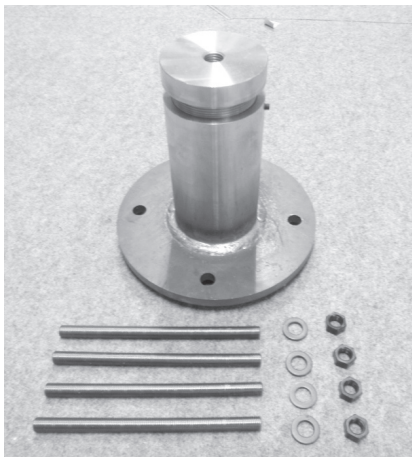


写真-1 接合金物の形状

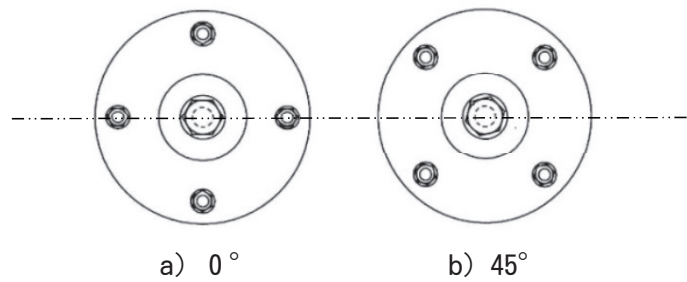


図-3 アンカー筋の設置角度

2. 実験概要

2. 1 試験体の概要

図-2と写真-1にディスク型接合金物¹⁰⁾(以下、接合金物と記す。)の形状を示す。接合金物は既存躯体に円形の凹部を施工し、その凹部に底部コッターをかみあわせることによってせん断力の伝達を行う。補強枠の鉄骨部材寸法は、H-200×100×5.5×8mmと仮定し、接合金物の出寸法は既存部と補強部の取り合いを考慮して256mmに設定した。また、接合金物のコッターは、既存躯体のコア加工を行う工具や施工性、接合金物の加工やコストに配慮し、φ100の円形とした。ベースプレートは板厚や既存梁(梁せいは400mm程度)との取り合い、ディスク型接合金物としての性能効率(耐力と必要性能、コスト)を考慮して、φ280mm程度に設定した。また、コッター部分でのせん断力の伝達を有効に行えるよう、せん断力伝達時に発生する偏心モーメント(引き剥れ)はあと施工アンカーによって抑えることを想定した。

図-3にアンカー筋設置角度を示す。アンカー筋の設置角度により耐力が変わることを想定して0°と45°の2種類とした。なお、引き抜き抵抗用アンカー筋の埋め込み深さは12da(192mm)とした。また、表-1に試験体のパラメータを示す。試験体は全部で12体製作した。ここで、接合金物を設置するコンクリート躯体は、韓国の学校建物のコンクリート強度を想定し、10N、15N、21Nを目標に3種類を作成した。なお、材料の機械的性質を表-2に示す。

表-1 試験体パラメータ

試験体No	コンクリート呼び強度 (N/mm ²)			アンカー筋の設置角度		試験体数	加力
	10	15	21	0°	45°		
No. 1	○			○		3体	単体加力
No. 2	○				○	3体	
No. 3		○		○		3体	
No. 4		○			○	3体	
No. 5			○	○		3体	
No. 6			○		○	3体	
No. 7	○			○		3体	3体同時加力
No. 8		○		○		3体	
No. 9			○	○		3体	
No. 10	○				○	3体	
No. 11		○			○	3体	
No. 12			○		○	3体	

表-2 (a) 材料の機械的性質 (鋼材)

部 位	材 質	降伏強度 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	弾性係数 ×10 ⁵ N/mm ²
ベースプレート	SS400	271	427	2.11
鋼 管	STKM13A	263	493	2.43

表-2 (b) 材料の機械的性質 (コンクリート)

部 位	圧縮強度 N/mm ²	弾性係数 ×10 ⁴ N/mm ²	呼び強度 kN/mm ²
No. 1, 7	7.9	1.82	10
No. 2, 8	8.0	1.80	
No. 3, 9	13.8	2.13	15
No. 4, 10	15.1	1.96	
No. 5, 11	18.2	2.18	21
No. 6, 12	18.4	2.27	

2. 2 加力概要

加力の概念図と加力装置を図-4と写真-2に示す。個々の接合金物の負担荷重を直接計測するために単体加力と3体同時加力（接合金物3体をH型鋼にボルト接合した状態）を行う。また、接合金物と加力梁の間にテフロンシートを用いて摩擦抵抗を可能な限り小さくし、引き剥れ力のみ抵抗するようにする。加力は、油圧ジャッキ2台を並列配置させ、金物頂部とジャッキを溝型鋼を介してピン接合により連結した。

図-5に試験体の変位および歪の計測位置を示した。加力の制御は、接合金物の頂部に設置したD1変位計で行った。加力手順は、第1に3体同時加力を行った。次に、試験体を3体同時加力が終了した状態から、接合金物2体のボルトを抜き取り、単体加力を行う。なお、予備実験においてアンカー筋設置角度が 0° の3体同時加力の場合、早い段階で接合金物に一部降伏が見られたため、加力はD1変位計で水平変位1mmまでとした。そして、単体加力の場合は接合金物2体は弾性範囲内（1mm）までの加力とし、もう1体は水平変位2mm時の挙動を確認するため、水平変位2.5mmを目標に接合金物が降伏しても加力を続けることにした。その際に選んだ接合金物1体は、3体同時加力後の各接合金物の付着周囲にひび割れが一番少なかったものとした。また、アンカー筋設置角度が 45° においては、予備加力時で接合金物に降伏が見られなかったため、D1変位計で水平変位2mmまでの加力とした。なお、図-6に試験体No.および接合金物No.表記の一例を示す。

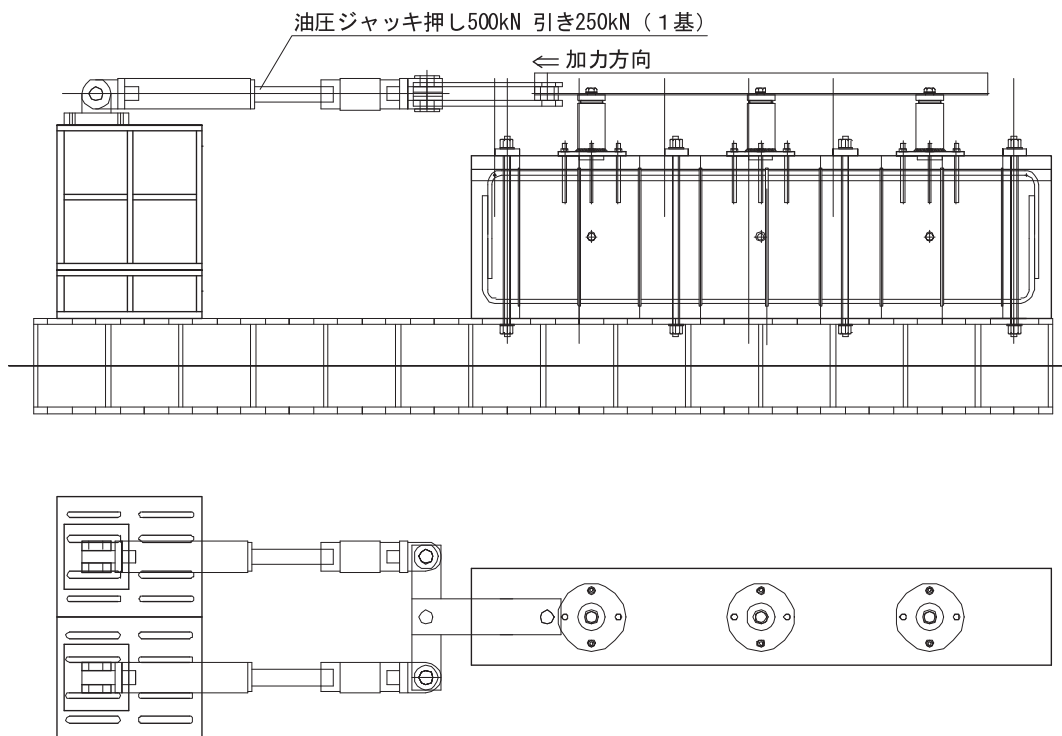


図-4 加力の概念図

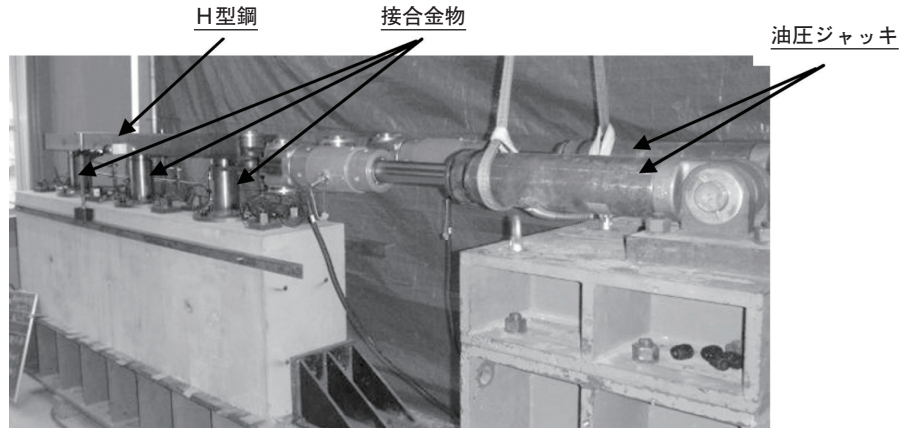


写真-2 加力装置

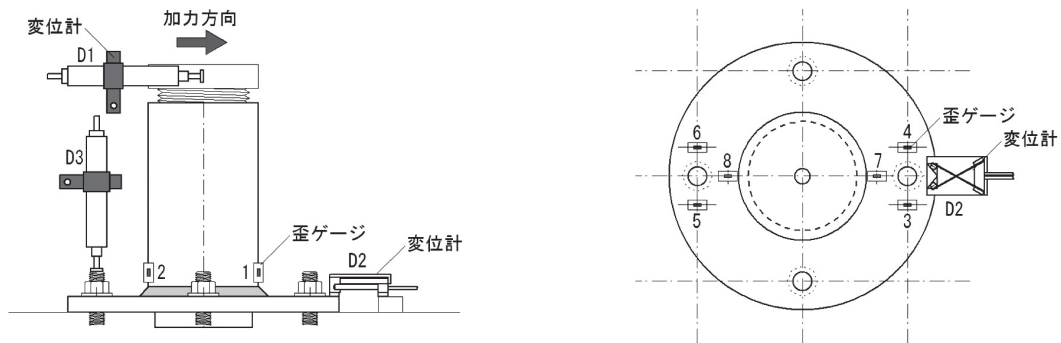


図-5 変位および歪計測位置

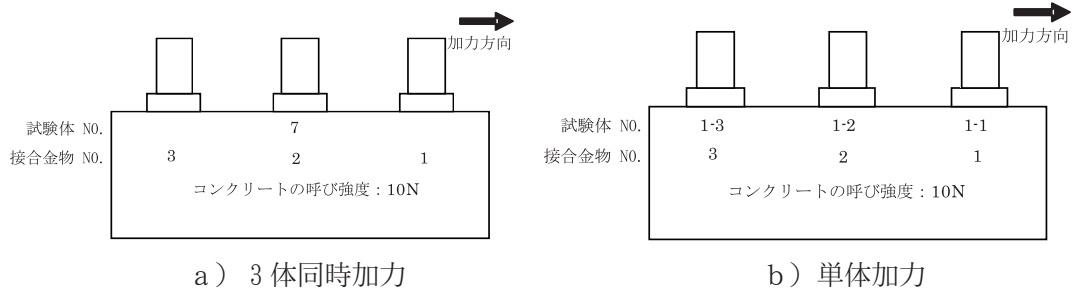


図-6 試験体No.および接合金物No.表記の一例

3. 試験体の計算耐力^{7), 8), 9)}

今回用いた計算耐力式を式-1～式-10に示す。試験体で予想される破壊には、[鋼管部分での破壊]、[ベースプレートでの破壊]、[アンカー筋の引き抜け破壊]、[コッター部分の破壊]がある。同式で求めた計算耐力を表-3と表-4に示した。同表中の計算値はそれぞれの材料試験結果をもとに算出した値である。

a) 鋼管部分での破壊

a-1) 鋼管部分での曲げ破壊

$$Z = \pi \{ D^4 - (D - 2t)^4 \} / 32 \times D \quad (\text{式-1})$$

$$M_{max} = \sigma \times Z \quad (\text{式-2})$$

$$Q_{mu} = M_{max} / L \quad (\text{式-3})$$

ここで、 Z :断面係数 (mm^3)、 D :鋼管径 (mm)、 t :鋼管厚さ (mm)、 σ :材料強度 (N/mm^2)、 M_{max} :最大曲げモーメント ($\text{kN} \cdot \text{mm}$)、 Q_{mu} :曲げ終局時せん断強度 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

a-2) 鋼管部分でのせん断破壊

$$Q_{su} = \sigma / \sqrt{3} \times pA \quad (\text{式-4})$$

ここで、 Q_{su} :せん断終局強度 (kN)、 pA :鋼管断面積 (mm^2)

b) ベースプレートでの破壊

$$Q_{su} = \sigma / \sqrt{3} \times bA \quad (\text{式-5})$$

ここで、 Q_{su} :せん断終局強度 (kN)、 bA :ベースプレート断面積 (mm^2)

c) アンカー筋の引き抜き破壊

$$T_a = \min [T_{a1}, T_{a2}, T_{a3}] \quad (\text{式-6})$$

ここで、 T_a :アンカー筋の引き抜き耐力 (kN)

c-1) アンカー筋の降伏による場合

$$T_{a1} = \sigma_y \times a_0 \quad (\text{式-7})$$

ここで、 T_{a1} :アンカー筋の許容引張力 (kN)、 σ_y :アンカー筋の材料強度 (N/mm^2)
 a_0 :アンカー筋の断面積 (mm^2)

c-2) 定着したコンクリート躯体のコーン状破壊による場合

$$T_{a2} = 0.23 \sqrt{\sigma_B} \times A_C \quad (\text{式-8})$$

ここで、 T_{a2} :コーン状破壊の許容引張力 (kN)、 σ_B :コンクリート強度 (N/mm^2)
 A_C :有効水平投影面積 (mm^2)

c-3) 接着剤の付着性能による場合

$$T_{a3} = t_a \times \pi \times d_a \times l_e \quad (\text{式-9})$$

ここで、 T_{a3} :接着剤による付着許容引張力 (kN)、 d_a :アンカー筋の直径 (mm)
 t_a :接着系アンカーの引き抜き力に対する付着強度 (N/mm^2)、 l_e :埋め込み深さ (mm)

d) コッター部分の破壊

$$q = B \times h_e \times 1.66 \times (T/B)^{0.63} \times \sigma_B \quad (\text{式-10})$$

ここで、 $B = \Phi_d \times \cos 45^\circ$ 、 h_e :ディスクの埋込み深さ (mm)、 Φ_d :ディスク径 (mm)
 T :梁幅 (mm)、 σ_B :コンクリート強度 (N/mm^2)

表-3 鋼管とベースプレートの計算耐力

鋼管 (kN)	99.4
ベースプレート (kN)	184.7

表-4 アンカー筋とコッタの計算耐力

		0°			45°		
		No.1,7	No.3,8	No.5,9	No.2,10	No.4,11	No.6,12
アンカーで壊れた際に耐力 (1本)	(kN)	38.7	51.1	58.7	62.8	86.2	95.2
アンカーで壊れた際に耐力 (3本)	(kN)	116.1	153.3	176.1	188.4	258.6	285.6
コッター耐力 (1本)	(kN)	44.2	77.2	101.8	44.8	84.5	103.0
コッター耐力 (3本)	(kN)	132.6	231.7	305.5	134.3	253.5	308.9

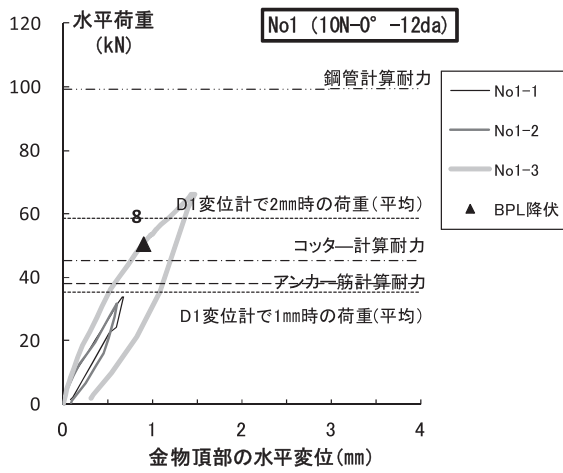
4. 実験結果

4.1 荷重-変位曲線

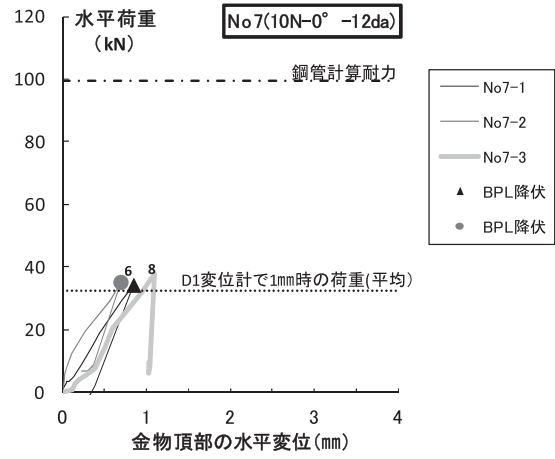
各試験体の荷重-変位曲線を図-7に示す。同図はアンカー筋設置角度が0°(図-3(a))の場合である。ここで、図中の変位は、各接合金物の頂部で計測したもの(D1変位計:図-5参照)から、ベースプレート部の剛体変位分(D2変位計)や浮き上がりの剛体回転(D3変位計)を取り除いた変位量を用いた。3体同時加力(同図d)、e)、f)の水平荷重は、単体の鋼管の歪値(歪ゲージ1、2:図-5参照)により各金物の負担割合を算出した。また、図中には試験体で予想される破壊の計算耐力をそれぞれ示した。また、D1変位計で水平変位が1mm時の荷重平均値と2mm時の荷重平均値を図中にそれぞれ示した。なお、図中▲、●は試験体に貼付した歪ゲージが降伏した時点を示した。

水平変位1mm時の荷重は単体加力(同図a)、b)、c))と3体同時加力で同等な耐力となった。また、水平変位が1mm時、および2mm時(D1変位計)の水平荷重において、既存躯体のコンクリート強度差による相関関係は見られない。そこで、試験体に設置している各歪みゲージの値を検証した所、降伏が生じた試験体は、すべてベースプレート(歪ゲージ8:図-5参照)で降伏していることがわかった。なお、各接合金物のベースプレートで計測したD2変位計を用いて水平変位を算出した結果、全体変位(1mm時)の9%~18%を占めていた。このことから、コンクリート躯体とベースプレートの接合面が原因で応力集中となり、コンクリート躯体の強度差に影響が見られなかったと考えられる。

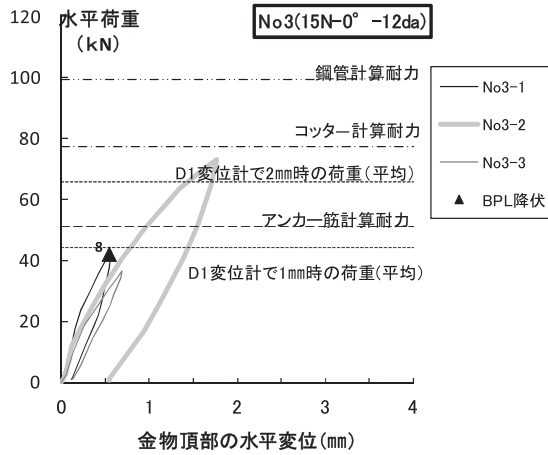
また、図-8には、アンカー筋設置角度が45°(図-3(b))の場合の荷重-変位曲線を示す。1mm時、および2mm時(D1変位計)の水平荷重において、1次比例ではないが、コンクリート躯体の強度が高くなるにつれて耐力も高くなる傾向が見られた。同図では、アンカー筋設置角度を45°に変えることでベースプレートでの降伏があまり見られていない。これは、コンクリート躯体とベースプレートの接合面で、水平荷重の伝達機構が変化したためと考えられる。



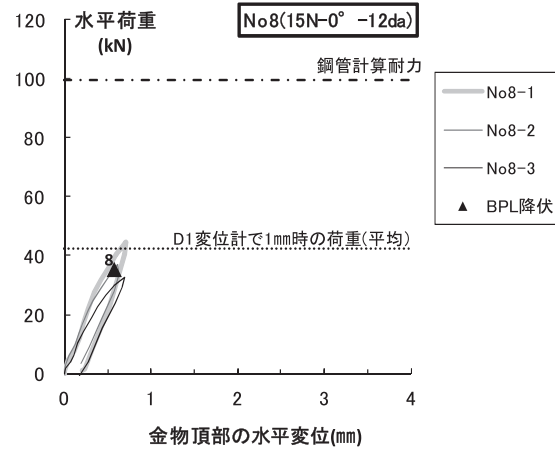
a) No. 1 試験体



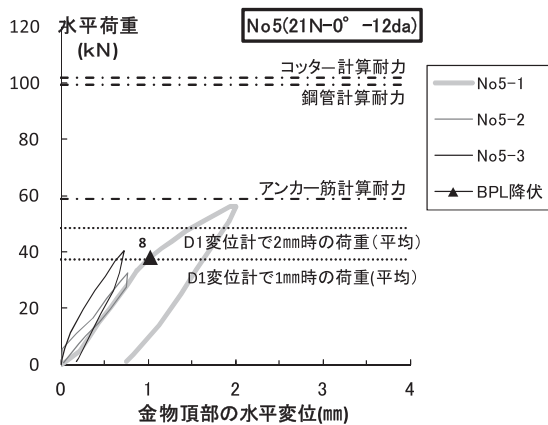
d) No. 7 試験体



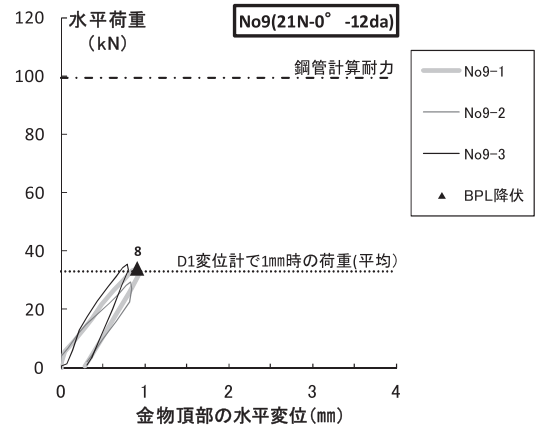
b) No. 3 試験体



e) No. 8 試験体

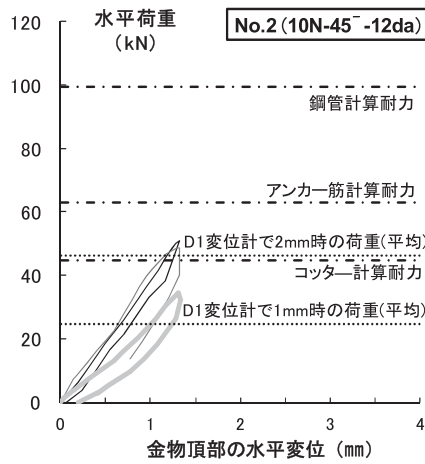


c) No. 5 試験体

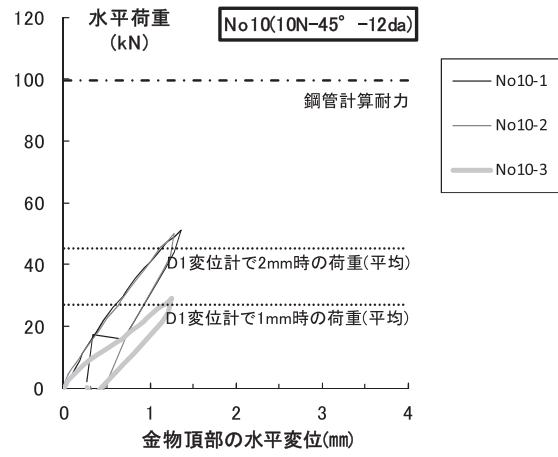


f) No. 9 試験体

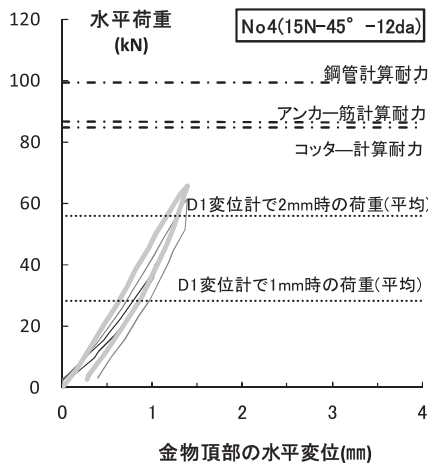
図-7 金物頂部の荷重-変位関係 (アンカー筋設置角度 0°)



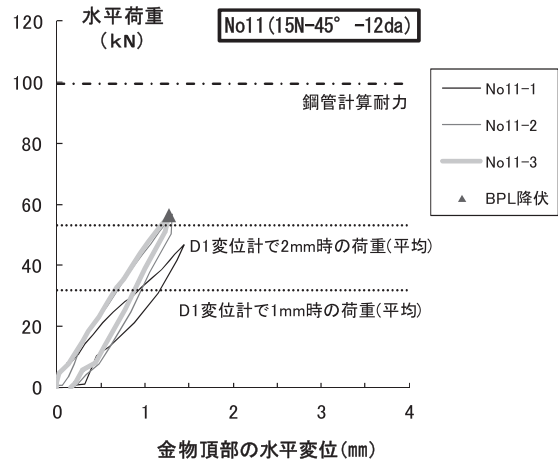
a) No. 2 試験体



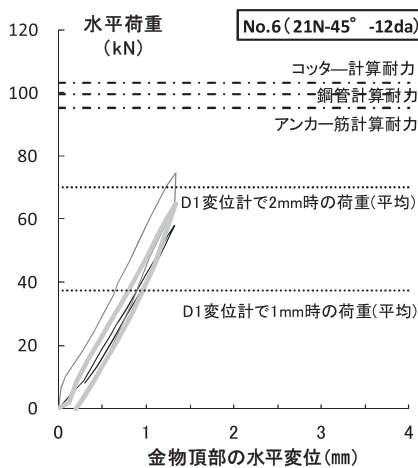
d) No. 10 試験体



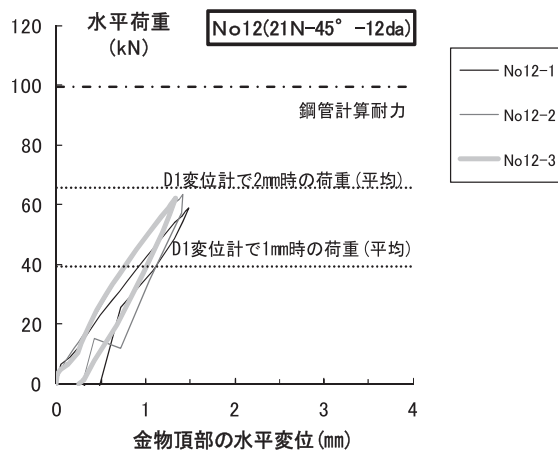
b) No. 4 試験体



e) No. 11 試験体



c) No. 6 試験体



f) No. 12 試験体

図-8 金物頂部の荷重-変位関係 (アンカー筋設置角度45°)

4. 2 計算値と実験値の比較

各試験体の結果一覧を表-5に示す。同表には、D1変位計（図-5参照）で接合金物頂部の水平変位が1mm及び2mm時の水平荷重平均と式-3で求めた鋼管部分の計算値（ Q_{mu} :曲げ終局時せん断強度）を示した。実験値において、アンカー筋設置角度が0°に比べ、45°で耐力が高くなる傾向が見られる。また、今回の実験レベルでは、実験値を計算値に直接比較することはできないものの^{注1)}、実験耐力は計算耐力に達しない傾向が見られた。このことから、今回用いた計算耐力式^{7), 8), 9)}の評価は、実験結果をもとに再検討する必要があると考えられる。

表-5 水平荷重の実験結果と計算結果

		実験値 (kN) ^{注1)}	計算値 (kN)
0°	No. 1	58.3 (水平変位が2mm時)	99.4
	No. 3	65.9 (水平変位が2mm時)	
	No. 5	48.3 (水平変位が2mm時)	
	No. 7	32.4 (水平変位が1mm時)	
	No. 8	42.5 (水平変位が1mm時)	
	No. 9	32.9 (水平変位が1mm時)	
45°	No. 2	46.1 (水平変位が1mm時)	
	No. 4	55.8 (水平変位が2mm時)	
	No. 6	70.2 (水平変位が2mm時)	
	No. 10	45.1 (水平変位が2mm時)	
	No. 11	53.0 (水平変位が2mm時)	
	No. 12	65.5 (水平変位が2mm時)	

注1): 実験値は、試験体が壊れない範囲までの加力としたため各試験体の最大耐力ではない。

4. 3 ひび割れ状況

図-9と図-10に試験体のひび割れ状況を示す。同図では、アンカー筋設置角度が0°と45°場合の試験体一例をそれぞれ示した。同図a)は、試験体のひび割れ状況を、同図b)は実験後に金物を取り外した際のコンクリート躯体表面の状況である。実験では、水平加力を金物頂部の水平変位が最大2.5mmまでの変形としたため、接合金物を取り付けたコンクリート躯体にはそれほど大きなひび割れは発生していない。また、同図c)は、実験後の金物側面を表しているが、接合金物の変形やアンカー筋の損傷などは見られなかった。

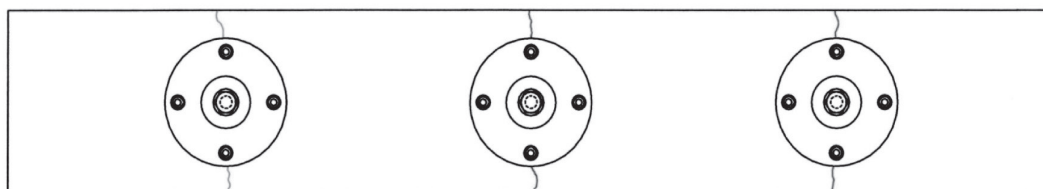
5. まとめ

本報では、韓国の既存建築物の耐震補強のためディスク型接合金物の耐震性能実験を行った。また、実験結果と計算結果を比較・検討した。得られた知見を以下にまとめる。

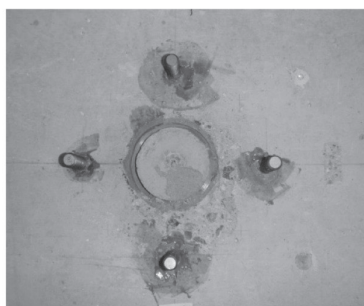
- 1) 金物頂部の水平変位が1mm及び2mm時の水平荷重は、単体加力と3体同時加力でその差があまり見られなかった。
- 2) アンカー筋設置角度45°の場合、コンクリート強度が高いものほど耐力が上がる傾向が見られた。しかし、アンカー筋設置角度0°では、その差が見られなかった。なお、接合金物

に生じた降伏部位は、すべてベースプレートであった。

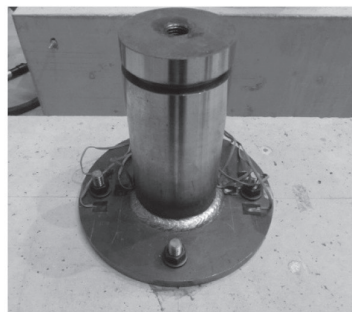
- 3) 全体的に実験耐力は計算耐力に達しない傾向が見られた。このことから、今回用いた計算耐力式^{7), 8), 9)}の評価は、実験結果をもとに再検討する必要があると考えられる。
- 4) 今回の実験では、コンクリート躯体にそれほど大きなひび割れは発生していない。また、接合金物の変形やアンカー筋の損傷なども見られなかった。



a) ひび割れ図

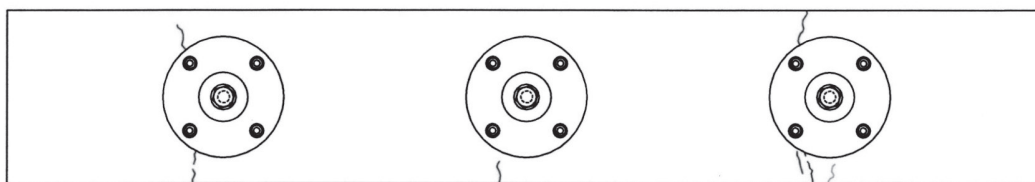


b) 実験後のコンクリート表面

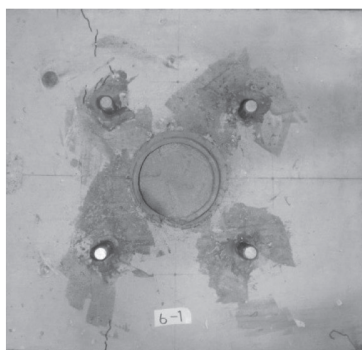


c) 実験後の金物側面

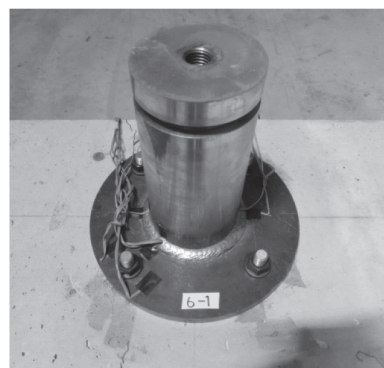
図-9 No. 5 試験体のひび割れ状況 (アンカー筋設置角度 0°)



a) ひび割れ図



b) 実験後のコンクリート表面



c) 実験後の金物側面

図-10 No. 5 試験体のひび割れ状況 (アンカー筋設置角度45°)

今後の課題

本実験では、ディスク型接合金物の耐震性能を確認することができた。しかし、既往の文献^{7), 8), 9)}で提案されている計算式と今回の実験結果は、耐力に差が見られるなどいくつかの課題あったためさらなる検証実験が必要である。

- 1) 各試験体において、ベースプレートが早期に降伏していることから、ベースプレートにリブ補強などを施した改良が必要と思われる。また、ベースプレートとコンクリート躯体にばらつきが出ないような施工方法を考える必要がある。
- 2) 今回の実験の加力制御は、接合金物の頂部のD1変位計で行なった。しかし、この変位にはベースプレート部の剛体変位や浮き上がりの剛体回転が含まれている。次回の検証実験では、これらの変位量を考慮した加力制御が必要である。
- 3) 今回の実験では、ディスク型接合金物を壊させないため、水平変位を最大2.5mm (D1変位計で制御) までの加力とした。しかし、大変形時のひび割れの把握や計算耐力との直接比較には、試験体を破壊時まで加力する必要がある。

謝 辞

本研究において、矢作建設株式会社地震工学技術研究所の多くの皆さんに実験の多大なご協力、ご助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 朴 相俊ほか：韓国における学校建築物の煉瓦壁に関する実験的研究（その1～2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp.1049-1052、2012.9
- 2) 貞末 和史ほか：高性能ディスクアンカーのせん断強度に関する実験的研究、日本建築学会中国支部研究報告集、No.32、pp.1-4、2009.3
- 3) 韓国法令情報センター：地震災害対策法、施行令2010.7.12.（韓国）
- 4) Yi, W.H., Lee, J.H., Oh, S.H., Yang, W.J., Kang, D.E. : A Study on Evaluation of Shear Capacity of Unreinforced Masonry Wall. , Architectural Institute of Korea, Vol. 21, No.10, pp.3-10, 2005.10.
- 5) 佐藤貴志ほか：鋼製ディスクとアンカーボルトを併用した耐震改修用接合部材の開発（その2）、日本建築学会学術講演梗概集、C-2、pp.617-618、2011
- 6) 宮口克一ほか：あと施工アンカーの低強度コンクリートへの適用に関する実験的研究（その1）、日本建築学会学術講演梗概集、pp.153-154、2009.7
- 7) 日本建築学会：高力ボルト接合設計施工ガイドブック、2004
- 8) 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改修設計指針・同解説、2001
- 9) 旧建設省土木研究所：プレキャストブロック工法によるプレストレスコンクリート道路橋

設計・施工指針（案）、1995年

- 10) 萩野谷 学ほか：接合金物を用いた外付け耐震補強工法の開発、日本建築学会技術報告集
Vol.19、No.43、pp.961-966、2013-10