

# 論文 ディンプルによる新旧コンクリート間のせん断伝達性能

武田 篤史\*1・田中 浩一\*2・岡本 大\*3・谷村 幸裕\*3

**要旨：**RC 巻立てなどによる RC 構造の曲げ補強においては、既設部と新設部間のせん断伝達が必要となる。せん断伝達のためには、既設コンクリートの目粗しを行うことが一般的であるが、性能の担保が困難であるという問題を有している。そこで、旧コンクリートに削孔した凹部（以下、ディンプルと記す）に新コンクリートが充填されることによりせん断伝達を可能とする工法を考案した。本工法は、伝達すべきせん断力に対して定まる削孔ディンプルの個数により管理できるため、性能の担保が容易となる。本論文においては、新旧コンクリートを模した試験体を用いて載荷実験を行い、ディンプルを用いた新旧コンクリート間のせん断伝達性能を評価した。

**キーワード：**曲げ補強, 新旧コンクリート, せん断伝達, 一面せん断, 拘束力

## 1. はじめに

RC 土木構造物の曲げ補強においては、鋼板や RC による巻立てが多く用いられている。このとき、新設の鋼板や RC と既設構造は、一体化して平面保持を仮定できるように挙動させるが、そのためには新設部と既設部の間で適切なせん断伝達が行われることが必要となる。

新設コンクリートや充填モルタルと既設コンクリート間のせん断伝達性能を増加するためには、既設コンクリートに目粗しを行うことが一般的である。このせん断伝達性能を、目粗しの深さをパラメータとして定量的に取り扱おうとした研究<sup>(例えば 1)2)</sup>はいくつもあるが、その成果は実構造物の設計や施工には取り入れられているとは言い難い。その原因として、広大な施工範囲に対して目粗しの深さを適切に管理することが困難であるためと考えられる。

また、既設躯体にジベル鉄筋をアンカーし、巻立て鋼板と直接締結する方法もある<sup>3)</sup>。しかし、アンカー長はかぶりととどまらないため、既設鉄筋を避けて削孔する必要があり、任意の箇所に設けることができず施工性に

問題を有している。

このような背景のもと、性能を確実に管理でき、簡便に施工できるディンプルによる新旧コンクリートのせん断伝達工法を考案した。

本工法は、特殊なビットを用いたコアドリルにより旧コンクリートに凹面（ディンプル）を設け、新設コンクリートがディンプルに充填されることによりせん断伝達を行うものである。同時に行うせん断補強やじん性補強のために用いる鋼板や帯鉄筋、中間貫通鋼材などにより拘束することで、新コンクリートの凸面がディンプルから乗り上がるのを防止するとともに、その時に生じるパッシブの拘束力を活かして新コンクリート凸部の一面せん断強度増加に期待するものである。本工法の概要を図-1に示す。ディンプル1個当たりのせん断伝達性能が明らかであれば、必要なせん断力に対してディンプルの個数を設計することができ、個数およびディンプルの形状を管理することで容易に性能を担保することができる。また、目粗し時に発生する騒音振動を低減できるとともに、はつりガラが発生しないため、環境に配慮した工法といえることができる。

本論文では、ディンプルを用いた新旧コンクリート接合部を模擬した要素実験の結果を示し、打継面におけるせん断耐力の評価を行った。

## 2. せん断伝達性能評価実験

### 2.1 実験方法

ディンプルによるせん断伝達性能の評価を目的として、新旧コンクリートの接合部をモデル化した要素実験を行った。

試験体形状および載荷方法を、図-2に示す。新旧コ

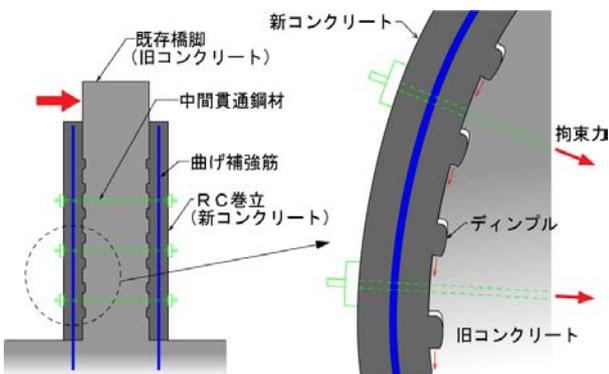


図-1 ディンプルによるせん断伝達機構

\*1 (株) 大林組 技術研究所 工修 (正会員)

\*2 (株) 大林組 技術研究所 工博 (正会員)

\*3 (公財) 鉄道総合技術研究所 工博 (正会員)

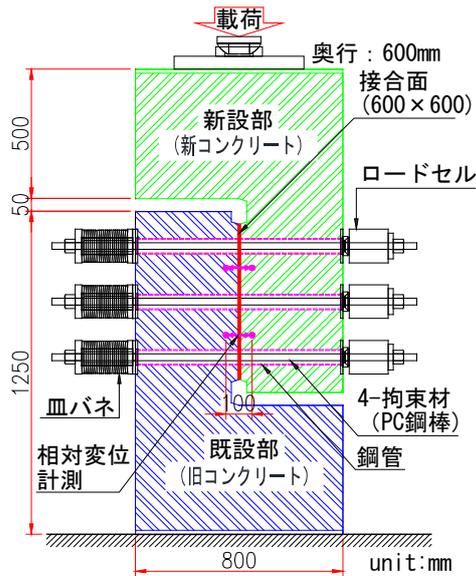


図-2 試験体と実験概要

表-1 材料試験結果

		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング 係数 (N/mm <sup>2</sup> )
既設部	低強度	18.0	1.99	2.25×10 <sup>4</sup>
	通常強度	35.7	2.67	2.61×10 <sup>4</sup>
新設部	通常強度	35.7	2.67	2.61×10 <sup>4</sup>
	高強度	67.8	4.82	3.22×10 <sup>4</sup>

ンクリートの接合部にせん断力のみが発生するように載荷した。

新旧コンクリートはそれぞれ2回に分けて打設した。既設部のコンクリート(以下、旧コンクリート)は骨材の最大粒径20mmで低強度とした。新設部のコンクリート(以下、新コンクリート)は骨材の最大粒径を13mmとし、通常強度と高強度の2種類とした。材料試験結果を表-1に示す。

600mm×600mmの接合面には、実構造物と同様にφ100mmの特殊ビットを用いてディンプル削孔を行った。ディンプルの配置および深さを実験パラメーターとした。削孔完了時の接合面の例を写真-1に示す。削孔終了後に接合面全体に撥水剤を塗布して、膠着力を除去した。

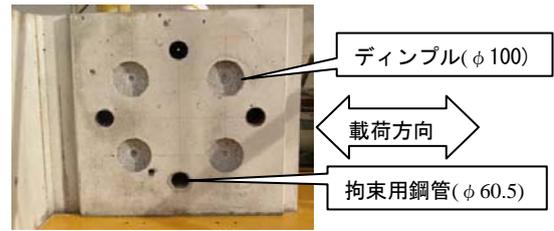


写真-1 既設部接合面の例

実験時は、帯鉄筋や中間貫通材の拘束効果を模擬するため、鋼管中に配置したPC鋼棒(φ19mmまたはφ26mm)4本で既設部と新設部を拘束した。この拘束材の剛性および実験開始時の軸力(初期拘束力)も実験パラメーターとした。拘束材の剛性はPC鋼棒の材端に皿パネを配置して調整した。

実験ケースの一覧を表-2に示す。表中の拘束剛性は2種類を併記している。拘束剛性の計算値 $k_{cal}$ は、PC鋼棒の拘束材剛性と皿パネ剛性から計算したもので、皿パネの非線形性、コンクリートやロードセルの剛性などは考慮されていない。一方、拘束剛性の実験値 $k_{exp}$ は、最大荷重時の拘束力を接合面の目開き量で除したものである。本論文では、拘束剛性の実験値 $k_{exp}$ を用いて整理した。

計測項目は、載荷荷重、ずれ変位、目開き量および拘束材軸力(拘束力)とした。ずれ変位および目開き量は、両側面それぞれで上下2点の合計4点で新旧コンクリートの相対変位を計測し平均した。拘束力は、4本の拘束材軸力それぞれロードセルで計測し平均した。載荷荷重は、計測値に新設部コンクリート部分および治具の死荷重も加えた。

## 2.2 実験結果

### (1) 破壊過程

図-3, 4, 5に荷重-ずれ変位関係、荷重-目開き量関係、および荷重-拘束力関係を示す。

初期拘束力が最も大きいNo.9(C30-4-M-P17-SH)および新コンクリートの強度が大きいNo.10(C30-4-H-P02-SH)

表-2 実験ケース

No.	名称	ディンプル		新設 コンク リート	拘束材			ディンプル配置	ディンプル形状
		深さ (mm)	個数 (配置)		初期 拘束力 $N^{ini}$ (kN/個)	拘束剛性 の計算値 $k_{cal}$ (kN/mm/個)	拘束剛性 の実験値 $k_{exp}$ (kN/mm/個)		
1	C30-4-M-P02-SH	30	4個	通常強度	25.0	76.9	49.7	4個配置	平面(共通)
2	C45-4-M-P02-SH	45	4個	通常強度	25.0	76.9	47.6	2個配置(V)	深さ30mm
3	C60-4-M-P02-SH	60	4個	通常強度	25.0	76.9	51.0	2個配置(H)	深さ45mm
4	C30-V-M-P05-SH	30	2個(V)	通常強度	50.0	84.9	57.6		深さ60mm
5	C30-H-M-P05-SH	30	2個(H)	通常強度	50.0	84.9	64.6		
6	C30-4-M-P02-SL	30	4個	通常強度	25.0	49.3	35.6		
7	C30-4-M-P01-SH	30	4個	通常強度	11.5	76.9	51.4		
8	C30-4-M-P06-SH	30	4個	通常強度	57.3	76.9	54.2		
9	C30-4-M-P17-SH	30	4個	通常強度	172.0	76.9	40.3		
10	C30-4-H-P02-SH	30	4個	高強度	25.0	76.9	52.4		

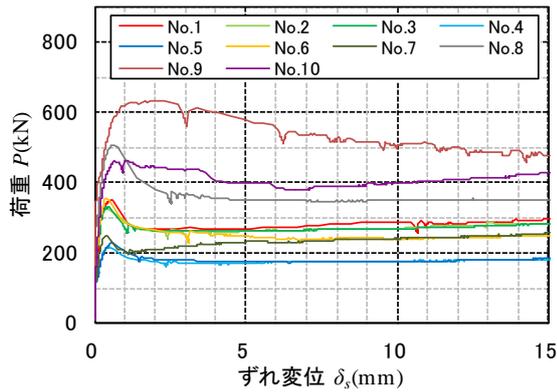


図-3 荷重-ずれ変位関係

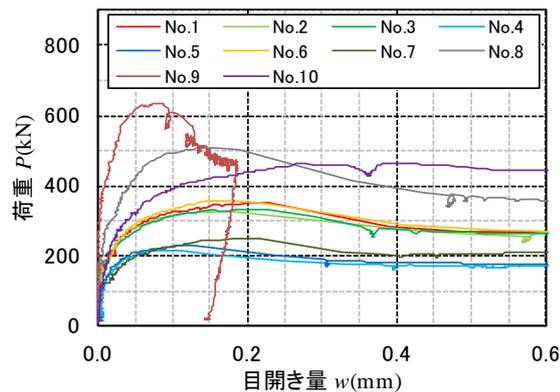


図-4 荷重-目開き量関係

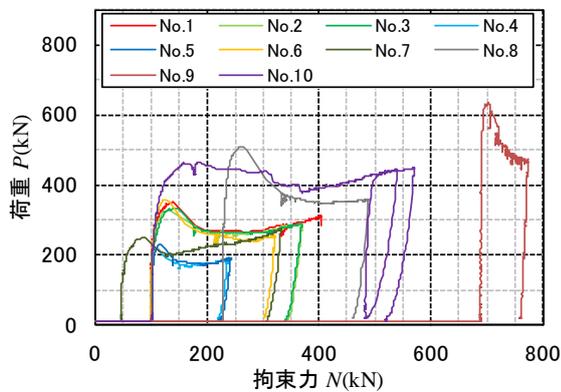


図-5 荷重-拘束力関係

を除く 8 ケースは、最大荷重の 1/3~1/2 程度でわずかに剛性が低下し、ずれ変位が 0.5mm 程度で最大荷重を迎えた。その後、最大荷重の 70%程度まで荷重が急落するものの、再びわずかながら荷重が増加する傾向を示した。

目開き量および拘束力は、最初の剛性低下時から増加する。このことから、この時点でディンプル以外の部分が剥離したと考えられる。最大荷重以降は、目開き量や拘束力が大きく増加した。その結果摩擦力が大きくなり、荷重が増加する傾向を示したと考えられる。

初期拘束力が最も大きい No.9(C30-4-M-P17-SH)は、最大荷重の 1/2 程度で剛性が低下するのは同様であったが、最大荷重後に荷重が急落せずに、2mm 程度ずれが増加するまで荷重を維持し、その後徐々に荷重が低下した。最



a) No.1  
(C30-4-M-P02-SH)

b) No.9  
(C30-4-M-P17-SH)



c) No.10  
(C30-4-H-P02-SH)

写真の見方

写真-2 破壊面

大荷重以降、目開き量や拘束力は増加したが、その量は他のケースより小さかった。

新コンクリートの強度が大きい No.10(C30-4-H-P02-SH)は、剛性低下する点が最大荷重の 1/4 程度と小さかった。荷重が 400kN 程度で再び剛性が低下し、最大荷重に至った。その後、緩やかに荷重低下し、変位 7mm 程度から再度荷重が増加した。目開き量や拘束力は他のケースより大きかった。

最大荷重時のずれ変位は、いずれの試験体も 0.3~1.0mm 程度であった。ずれ変位は、単調載荷時の剛性を低下させるとともに、地震時の繰返し載荷に対してスリップ挙動によるエネルギー吸収のロスにつながる。しかし、本工法におけるずれ変位の大きさは、土木学会複合構造標準<sup>4)</sup>に示される各種ずれ止めのせん断耐力時ずれ変位と比較して十分小さいと言え、本工法がずれ止めとして機能しうるものが想定される。

最大荷重後に荷重の急落があるものの、低下する荷重は最大荷重の 30%程度であり、その後は荷重が増加傾向にあることから、本工法によるせん断伝達構造はリダンダンシーを有する構造であると言える。

## (2) 破壊面の状況

載荷終了後、新旧コンクリート接合部の界面を観察した。写真-2に No.1, 9, 10 の破壊面を、図-6に破壊の模式図を示す。荷重-変位関係が No.1 と同様であった No.2~8 は、破壊面も No.1 と同様であった。

No.1 は、新コンクリートの凸部 (以下、凸部) がほぼ接合面と同じ平面で破壊しており、一面せん断破壊であると推定される。平面の不陸高さは新コンクリートの骨材程度であり、ほぼ同様であった。旧コンクリートのディンプル下方および新コンクリートのディンプル位置上方においては擦過痕が見られた。新旧コンクリート両者の擦過痕位置より、最大荷重後に数 mm ずれた後の痕跡

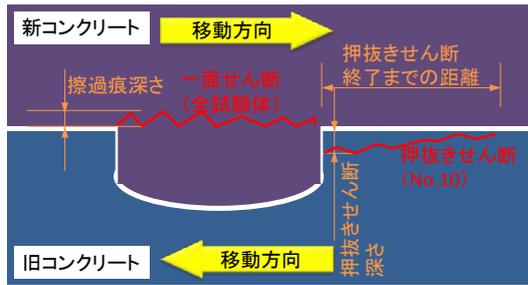


図-6 破壊の模式図 (側面図)

と考えられる。

初期拘束力が最も大きい No.9(C30-4-M-P17-SH)は、概ね No.1 と同様であるが、破壊平面の不陸が No.1 より小さいものの擦過痕は深いという特徴があった。

新コンクリートの強度が大きい No.10 (C30-4-H-P02-SH)は、旧コンクリートの押抜きせん断破壊および新コンクリート部の一面せん断破壊の両者が観察された。旧コンクリートの押抜きせん断破壊面は、せいぜい深さ 5mm 程度のところから形成されており、支圧個所から 100mm ほど離れたところで終了している。破壊状態から、一面せん断破壊と押抜きせん断破壊のどちらが先に生じたかの判断はできなかったが、これらの 2 種類の破壊により、0.6mm と 1.0mm のずれ変位で荷重ピークが 2 回生じた可能性がある。凸部下方には、旧コンクリートが付着しているが、これは一面せん断破壊面に付着したものであるため、一面せん断破壊後の現象である。

### 3. せん断伝達性能の評価

#### 3.1 概要

ディンプル深さについては、挙動にほとんど差は見られなかったため、深さ 30mm~60mm の範囲ではその影響がないものとして評価した。

新コンクリートの強度が与える影響は、試験体が 1 体しかないため評価の対象から除外した。ただし、新コンクリートの強度が高い場合も考察するために、各種のグラフ中にプロットはしている。

評価は、設計や施工の実務における管理の容易さを考慮し、ディンプル 1 個当たりで行うこととした。

#### 3.2 せん断耐力時における拘束力の影響

図-7 に最大荷重から求めたディンプル 1 個当たりのせん断耐力と最大耐力時の拘束力との関係を示す。

初期拘束力が最も大きい No.9(C30-4-M-P17-SH)を除くと、せん断耐力の実験値は概ね線形関係にあることが分かる。No.9 は拘束力が非常に大きいため、拘束力が有効な範囲の上限に達していたと考えられる。

そこで、No.1~No.8 を最小二乗法で近似し、No.9 のせん断耐力を上限として、式(1)のように評価した。

$$V = 40.1 + 1.31 N^{peak} \leq 158 \quad (1)$$

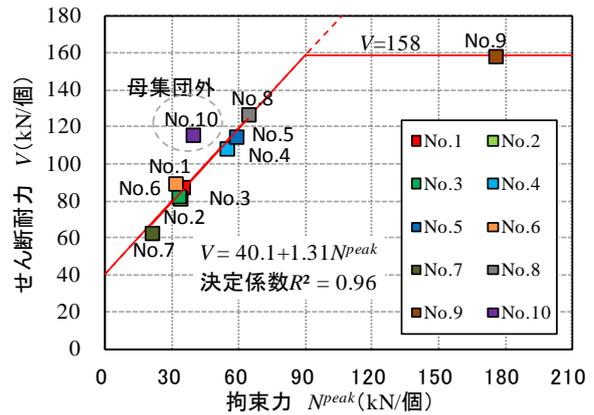


図-7 せん断耐力-拘束力関係

表-3 一面せん断耐力の評価

	定数項(kN)	比例係数	上限耐力(kN)
Mattock <sup>5)</sup>	21.7	0.8	84.1
岡田 <sup>6)</sup>	25.2	1.33	-
本実験	40.1	1.31	158

ここに、V: せん断耐力(kN/個)

$N^{peak}$ : せん断耐力時拘束力(kN/個)。

Mattock<sup>5)</sup>や岡田<sup>6)</sup>は同様に定数項および軸力比例項で一面せん断耐力を表わしている。Mattock は耐力の上限も示している。両者の提案している式を用いて本実験のディンプル 1 個当たりのせん断耐力を計算し、その値を表-3 に示す。Mattock の評価式は安全側となるようサンプルデータの下限值を示しているため、定数項、比例係数、上限耐力とも本実験の値より大幅に小さい。岡田は、実験結果より回帰式として示したものであるが、比例係数は同等であるのに対し、定数項が大きく異なる。これは、本実験では凸部の球面形状から凸部の支圧部分が 3 軸圧縮の状態になっており、一面せん断強度が高くなった可能性が考えられる。

ディンプル個数が 2 個である No.4(C30-V-M-P05-SH)および No.5(C30-H-M-P05-SH)に関しても、概ね式(1)で表わしている。従って、実構造物においてディンプルを複数設けた場合には、(1)式で示されるディンプル 1 個当たりのせん断耐力を個数倍すればよいと言える。

新コンクリートの強度が大きいため式(1)を回帰計算した際の母集団から除外している No.10 (C30-4-H-P02-SH)は、式(1)の回帰式より上方にある。新設部コンクリート強度の影響については試験体数が少ないため定量的に表わすことができない。しかしながら、新コンクリートの強度が高い場合においても、式(1)はせん断耐力を安全側な評価できるといえる。

#### 3.3 パッシブ拘束力に与える拘束剛性の影響

式(1)におけるせん断耐力時の拘束力  $N^{peak}$  は、初期拘束力  $N^{ini}$  だけでなく、接合面がずれたことにより生じるパッシブ拘束力  $N^{pas}$  も寄与しており、式(2)のように記述

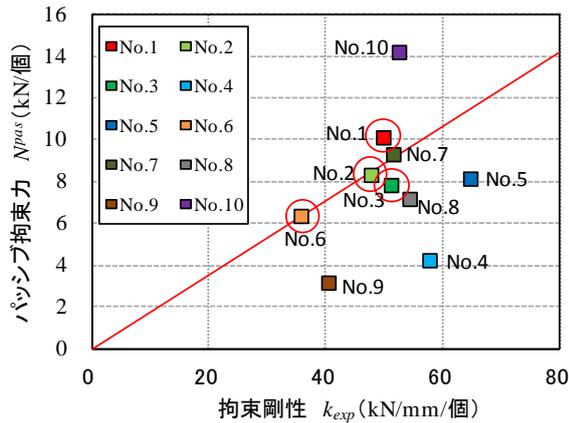


図-8 パッシブ拘束力-拘束剛性関係

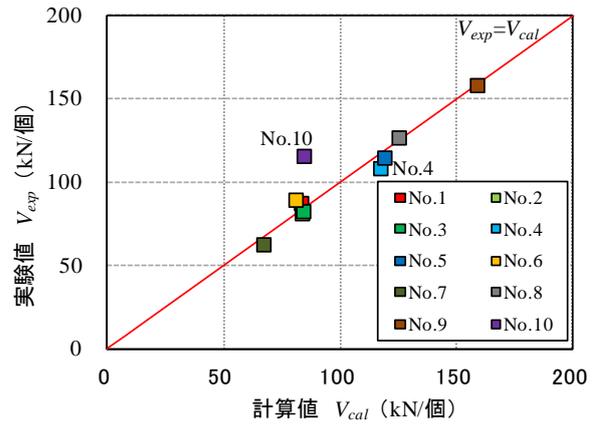


図-10 せん断耐力の実験値と計算値

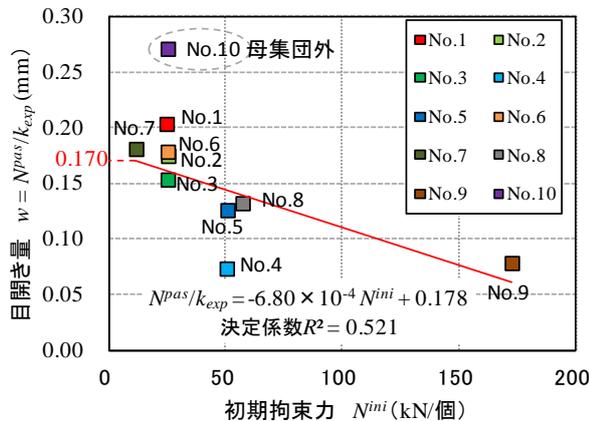


図-9 目開き量-初期拘束力関係

することができる。

$$N^{peak} = N^{ini} + N^{pas} \quad (2)$$

せん断耐力を求めるためには、パッシブ拘束力  $N^{pas}$  を定式化する必要がある。そこで、本節ではパッシブ拘束力  $N^{pas}$  と拘束剛性  $k_{exp}$  との関係を検討する。

図-8に、パッシブ拘束力  $N^{pas}$  と拘束剛性  $k_{exp}$  との関係を示す。実験値すべてをプロットするとばらつきを有しているが、初期拘束力  $N^{ini}$  が等しい4点(図中の赤丸で囲った点)に着目すると、概ね原点を通る直線状にある。そこで、初期拘束力が等しい場合には、比例係数  $\alpha$  を用いて以下の式が成り立つものと考えた。

$$N^{pas} = \alpha \cdot k_{exp} \quad (3)$$

ここで、比例係数  $\alpha$  は、増加荷重と剛性の比であるため、せん断耐力時の目開き量  $w$ (mm)にほかならない。つまり、式(3)は初期拘束力が等しければせん断耐力時の目開き量が一定値( $\alpha$ )であることを示している。

### 3.4 パッシブ拘束力に与える初期拘束力の影響

図-8において初期拘束力が異なるものに関してはばらつきが見られたため、パッシブ拘束力  $N^{pas}$  に与える初期拘束力の影響を検討した。ただし、拘束剛性  $k_{exp}$  の影響を取り込んだ上で検討するために、パッシブ拘束力  $N^{pas}$  は拘束剛性  $k_{exp}$  で除して目開き量  $w$  として整理した。

図-9にせん断耐力時の目開き量  $w (= N^{pas} / k_{exp})$  と初

期拘束力  $N^{ini}$  の関係を示す。これらは、右下がりの関係にあることが分かる。そこで、式(4)に示す直線で評価した(単位は kN, mm, /個)。

$$N^{pas} / k_{exp} = -6.80 \times 10^{-4} \cdot N^{ini} + 0.178 \quad (4)$$

このうち、ディンプルを鉛直に2個配置した No.4 (C30-V-M-P05-SH)については、大きく外れている。しかし、図-3, 4, 5においてディンプルを水平に2個配置した No.5(C30-H-M-P05-SH)と比較すると、ほぼ同様の挙動をしながら最大荷重の前で荷重が低下しているのが分かる。この原因として、No.4(C30-V-M-P05-SH)はディンプルが荷重の延長線状に2個あるだけであったため、接合面内で回転が起こりやすく、2個のディンプルに均一の荷重が作用しなかったためと考えられる。計測データにおいても両側面のせん断耐力時のずれ変形がそれぞれ 0.49mm と 0.26mm と差が生じており、接合面内での回転が裏付けられる。

初期拘束力が最も大きい No.9(C30-4-M-P17-SH)については、2.2に記述したとおり破壊モードに差があるため、本来は回帰式の母集団から除外すべきである。しかし、図-3, 4, 5より、ずれ変位が 1mm 程度までは No.1~8 と同様の挙動であり、その後荷重の上限値に達したことから、No.1~8 と同様の破壊モードであればより大きなせん断耐力時目開き量であったものと推定できる。よって、No.9のせん断耐力時目開き量を用いても安全側の評価が可能と考え、回帰式の母集団に加えた。

式(4)を計算する際の母集団から除外した新コンクリートの強度が大きい No.10 (C30-4-H-P02-SH)は、式(4)の回帰式より上方にある。よって、式(4)は新コンクリートの強度が高い場合でも安全側の評価となる。

### 3.5 ディンプルによるせん断伝達性能の評価

ディンプル1個当たりのせん断耐力  $V$  は、式(1), 式(2)および式(4)を統合することにより、以下のように表わすことができる(単位は kN, mm, /個)。

$$V = 40.1 + 1.31 N^{ini} - 8.91 \times 10^{-4} N^{ini} \cdot k + 0.233 k \leq 158 \quad (5)$$

適用範囲は、以下のように実験を行った範囲とする。

- 1)ディンプルはφ100mmで深さが30~60mm
- 2)初期拘束力 $N^{ini}$ は11.5kN/個以上
- 3)拘束剛性 $k$ は36.9~64.6kN/m/個
- 4)既設部のコンクリート強度は18N/mm<sup>2</sup>以上
- 5)新設部のコンクリート強度は36N/mm<sup>2</sup>以上

強度が増加しても、式(1)、式(2)および式(4)のそれぞれにおいて安全側に評価できていたため、コンクリート強度の上限は示さなかった。また、拘束力 $N^{peak}$ は117kN/個となった時点でせん断耐力の上限158kN/個に達するため、初期拘束力 $N^{ini}$ の上限は示す必要はないと考えた。

せん断耐力の実験値 $V_{exp}$ と計算値 $V_{cal}$ との比較を図-10に示す。回帰式の母集団から除外しているNo.10(C30-4-H-P02-SH)をのぞくと、 $V_{cal} / V_{exp}$ の平均は1.00、変動係数は0.05であった。従って、十分な精度で評価できていると言える。

図-8、9において回帰式から外れていたNo.4(C30-V-M-P05-SH)に関しても $V_{cal} / V_{exp}=1.08$ と良好な整合を示していた。これは初期拘束力が50kN/個程度と高いのでパッシブ拘束力の影響が小さくなるためである。

### 3.6 初期拘束力が小さい範囲への拡張

RC構造物を巻立てにより曲げ補強を行う際は、鋼板や帯鉄筋、中間貫通鋼材などの拘束材にプレストレスをかけることは一般的ではない。しかし、本実験では、載荷時に試験体を直立させるために初期拘束力 $N^{ini}$ を導入した。したがって拘束材にプレストレスをかけない場合が適用範囲外となる。そこで、 $0 \leq N^{ini} < 11.5\text{kN/個}$ の範囲への拡張を検討した。

初期拘束力の影響を示しているのは、式(4)の目開き量評価である。目開き量と初期拘束力の関係は、図-9に示す通り右下がりの関係である。プロットのない $N^{ini} < 11.5\text{kN/個}$ の範囲においても同様の傾向と考えられるが、直線で補完できるか不明である。そこで、 $N^{ini} < 11.5\text{kN/個}$ の範囲において、図-9の破線で示すように目開き量を一定と考えることでパッシブ拘束力を控えるために評価することとした。目開き量の最大値は、式(4)に $N^{ini}=11.5\text{kN/個}$ を代入すると $N^{pas} / k_{exp} = 0.170\text{mm}$ なので、式(1)および式(2)と統合することでせん断耐力の評価式は以下ようになる(単位はkN, mm, /個)。

$$V = 40.1 + 1.31 N^{ini} + 0.223 k \leq 158 \quad (6)$$

適用範囲は初期拘束力 $N^{ini}$ 以外に関しては、式(5)と同様である。

## 4. まとめ

RC構造の曲げ補強において、新旧コンクリートの一体化を図る工法として、ディンプルによる方法を考案し、その性能評価実験を行なった。その結果、以下の知見を

得た。

- (1) 実験においては、新コンクリートの凸部根元が一面せん断破壊するモードが多かったが、新コンクリートの強度増加により旧コンクリートの押抜きせん断破壊も見られた。
- (2) ディンプルを有した接合面のせん断耐力時のずれ変位は0.5mm程度と十分小さく、曲げ補強時の新旧コンクリート打継面におけるせん断伝達に用いることが可能である。
- (3) せん断耐力後もある程度の荷重を維持でき、ディンプルを有した接合面はリダンダンシーを有するすべり破壊であった。
- (4) 実験で行った範囲でディンプル1個当たりのせん断耐力の評価式を提案し、十分な精度を有していることを確認した。また、実用性を考えて初期拘束力の小さい範囲まで評価式を拡張した。

本検討では実験式の整理に拘束剛性の実験値 $k_{exp}$ を用いたが、実務設計においては本実験と等価になる剛性 $k$ の算定方法が必要となる。また、新コンクリートの圧縮強度を増加させると、せん断耐力が向上することが実験で確認できたが、データ数が少ないため定量的な評価はできなかった。これらの2点が今後の課題である。

さらにこの手法を用いて曲げ補強した部材の曲げ実験を行い、適用性を検証する予定である。

## 参考文献

- 1) 足立一郎, 小林一輔: ショットブラストを利用した新旧コンクリートの打継ぎ工法に関する研究, 土木学会論文集, 第373号/VI-5, pp.64-73, 1986.9
- 2) 槇谷貴光, 香取慶一, 林静雄: コンクリート打継ぎ面における表面粗さの評価とせん断力伝達に関する実験研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.171-176, 1995.6
- 3) 岡本大, 佐藤勉, 玉井真一, 宮城敏明: 壁式橋脚の鋼板巻立てによる耐震補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp.1615-1620, 2000.6
- 4) 土木学会: 複合構造標準示方書(2009年制定), 丸善, 2009
- 5) Mattock, A. H.: Shear Transfer in Concrete Having Reinforcement at an Angle to the Shear Plane, Shear in Reinforced Concrete, SP-42, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 17-42, 1974
- 6) 岡田武二: コンクリート接合面のせん断伝達に関する研究, 土木学会論文集, No.502/V-25, pp.73-82, 1994.11