

# 耐震補強等に用いるあと施工型せん断補強技術

## RMA 工法

竹本 幸弘・佐竹 辰州・羽馬 徹

耐震補強を目的として、既設の地中構造物をあと施工によりせん断補強する場合には、外面からの施工は難しい。また、一般的なせん断補強工法は、せん断耐力のみならず曲げ耐力も増加させる。一方、「RMA工法」(以下、本工法という)は、既設構造物の内面からあと施工で細径の削孔を行って補強筋を設置することで、せん断耐力だけの向上を図るものである。また、補強筋に特別な筋材を必要とせず、一般の鉄筋を用いることができ、定着材としてカプセルタイプの無機系モルタル「RMA」(以下、モルタルカプセル)を使用するため、安定した品質が簡便な施工で確保できるなどの特徴もある。なお、その設計は、理論と実験により決定したせん断補強の有効率を用いて行う。

キーワード：耐震補強, あと施工, せん断補強, 地中構造物, RMA 工法

### 1. はじめに

近年、高度経済成長期に建設された大量の構造物が次々に更新期を迎えている。これらの既存社会資本ストックを長期間にわたり活用するために、構造物を補強して延命化することは有効な手段である。その構造物の長期使用を図るための補強方法の一つとして、耐震補強等に用いるあと施工型せん断補強技術である本工法がある。

### 2. 背景

1980年以前に建設された構造物には、当時の基準で照査すると曲げ破壊が先行するが、現行の基準ではせん断破壊が先行し、じん性が不足するものが多数存在している。構造物の長期使用を図るためには、これらの構造物のせん断耐力を向上させ、曲げ破壊先行型にする補強が必要である。しかし、地中構造物はその特徴から片側面からしか施工できない(図-1)。また、一般的な鋼板設置や部材の増し厚等による補強は、せん断耐力のみならず曲げ耐力も増加させるため、効率的にあと施工でせん断補強する方法が求められている(図-2)。

こうした要求を満たす方法の一つとして本工法がある。以下に、その工法概要と、せん断補強効果の性能確認実験および設計方法の概要を説明する。

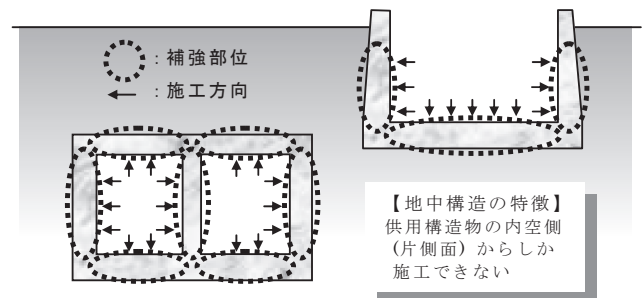


図-1 地中構造物の補強の概要

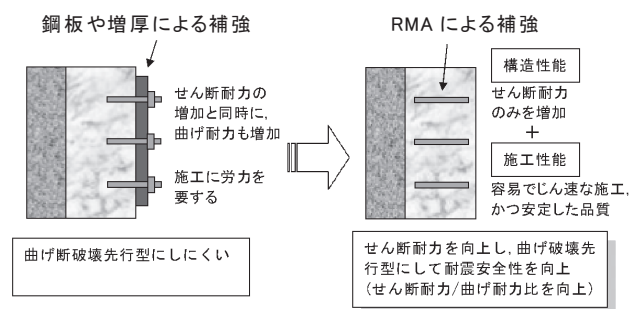


図-2 本工法による補強の概念

### 3. 工法概要

本工法の概要を図-3および図-4に、施工状況の例を写真-1に示す。

本工法は、既設構造物にあと施工で細径の削孔を行い、補強鉄筋を設置することで、せん断補強を施すものである。他の類似工法と比べて主に以下の特徴を有する。

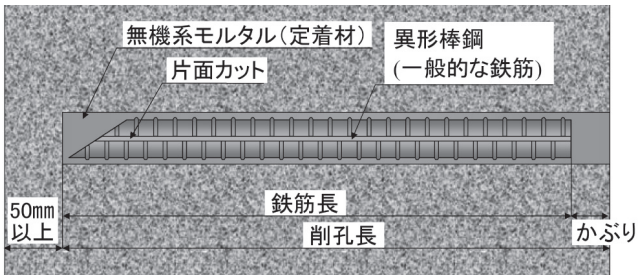


図-3 本工法の概要

①一般的な材料

補強筋に特別な筋材を必要とせず、一般の鉄筋を用いることができる。

②安定した品質

定着材にカプセルタイプの無機系モルタルを用いるため、安定した品質が簡便な施工で確保できる。

③じん速な施工

削孔は、一回である。グラウト注入作業を必要とせず、モルタルカプセルを挿入し、鉄筋を打込むだけである(図-4)。

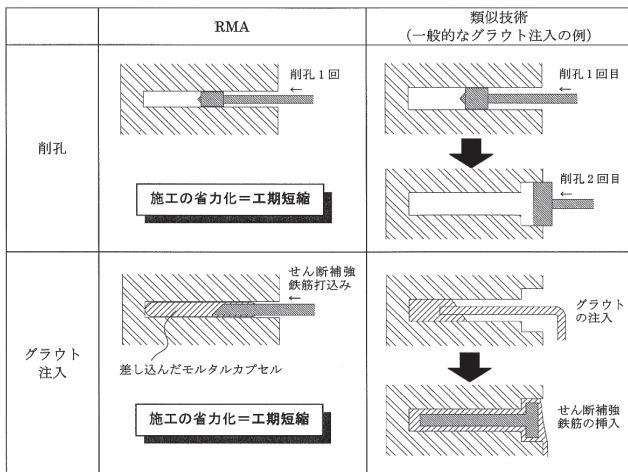


図-4 本工法と類似工法の施工工程の比較



写真-1 本工法の施工状況の例の比較

4. 性能確認実験

(1) 定着性能

①実験目的と方法

本工法によるせん断補強が成立するには、せん断補強鉄筋がモルタルによって既設構造物に定着されていることが基本である。そこで、本工法によって定着された鉄筋の定着強度を確認するための定着実験を行った。実験は、コンクリートブロック内にモルタルカプセルを用いて鉄筋を定着させ、引抜き試験を行うことにより、その定着性能を確認した。

供試体の種類を図-5および表-1に示す。

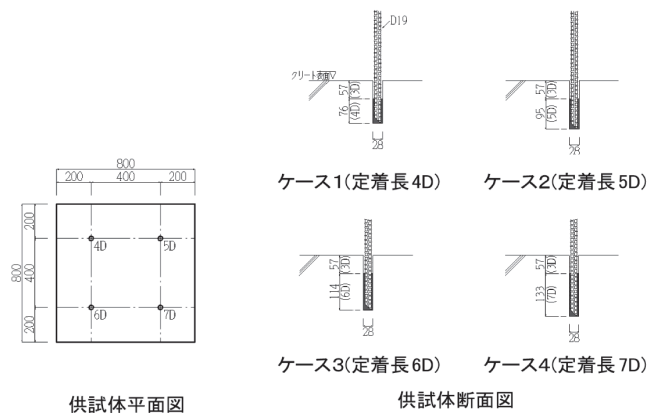


図-5 供試体の種類

表-1 供試体の種類と諸元

ケース	モルタルの仕様	せん断補強に使用する鉄筋の仕様	定着長 (mm)	試験本数 (本)
1	RMA モルタルカプセル	JIS G 3112 D19 (SD345)、L=1000mm 規格降伏強度：345 N/mm <sup>2</sup> 以上 実降伏強度：398 N/mm <sup>2</sup> 規格引張強度：490 N/mm <sup>2</sup> 以上 実引張強度：573 N/mm <sup>2</sup>	4 D 76	2
2			5 D 95	3
3			6 D 114	3
4			7 D 133	2

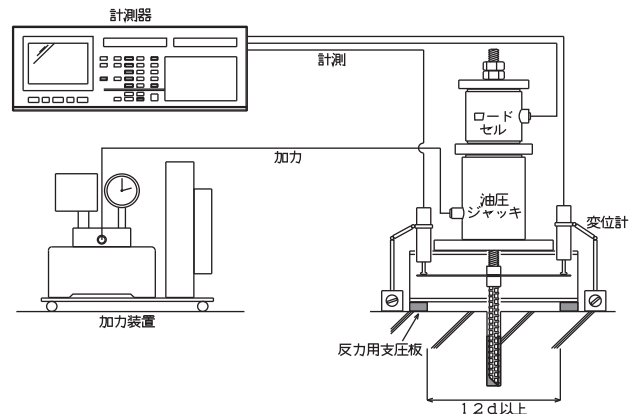


図-6 試験装置

定着長をパラメータとして4D から7D (D:鉄筋径) まで1D 毎変化させ、評価を行った。

載荷装置は図-6 のとおりとした。

②実験結果

図-7 に引張荷重—伸び変位関係を示す。ケース1 (定着長4D) では、規格降伏強度以上から規格引張強度より小さい荷重で付着破壊した。ケース2 (定着長5D) とケース3 (定着長6D) では、規格引張強度以上の荷重で付着破壊した。ケース4 (定着長7D) では、付着破壊することなく、規格引張強度以上で鉄筋の破断に至った。

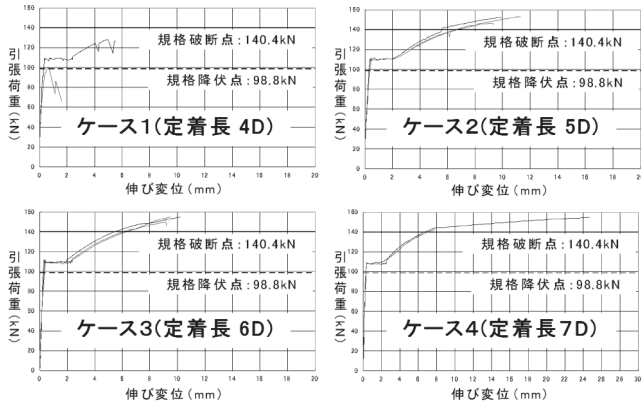


図-7 引張荷重—伸び変位関係

定着長と最大引張荷重をまとめたものを図-8 に示す。定着長が4D 以上でSD345 の規格降伏強度相当の定着力を確保できる。また、実降伏強度相当に対しては、5D 以上が必要となる。これらの結果と、使用する鉄筋の先端が斜めにカットしていることも考慮し、より安全側に規格破断強度相当以上の定着力を確保するものとして、本工法のせん断補強鉄筋の基本定着長は6D とした。

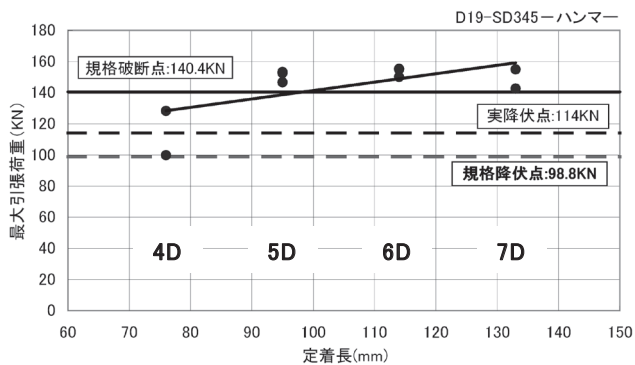


図-8 最大引張荷重—定着長関係

(2) せん断性能

①実験目的と方法

本工法によるせん断補強効果について性能確認実験を行った。B800 × H600 × L3,500 mm のRC 梁の供

試体(先施工のせん断補強筋 D16@300 mm)を製作し、これに本工法であと施工のせん断補強 (D19@300 mm × 2列) を施し (図-9), せん断耐力を確認する実験を行った。

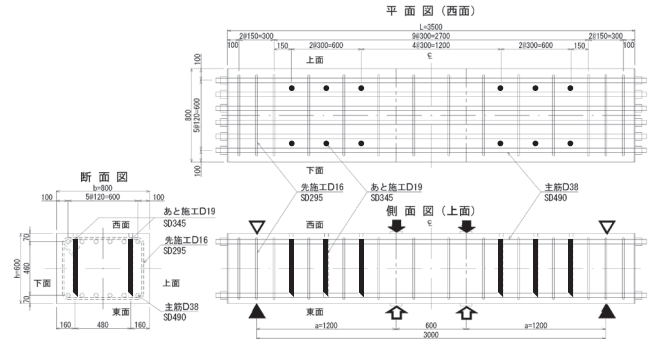


図-9 供試体

実験は、せん断スパン a = 1.2 m とする交番載荷によって行った。載荷装置を図-10 に、実験状況を写真-2 に示す。載荷方法は図-11 のとおりとした。

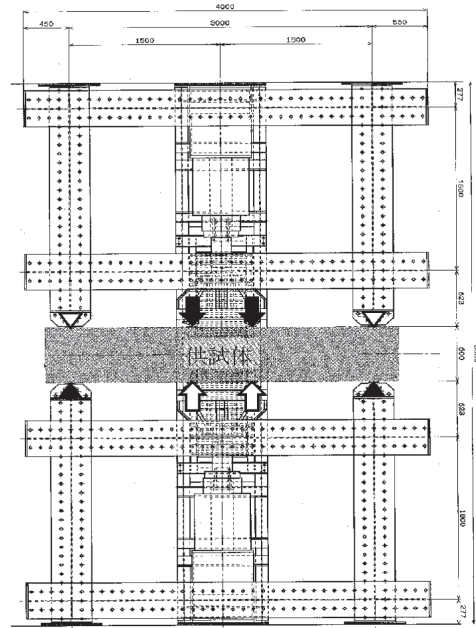


図-10 載荷装置

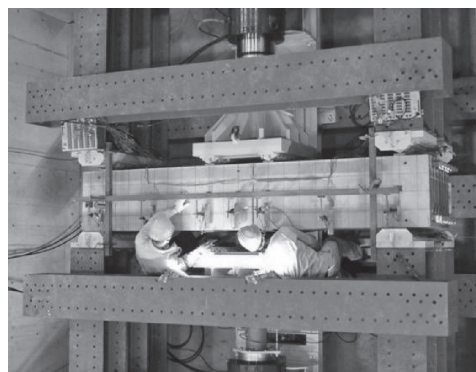


写真-2 実験状況

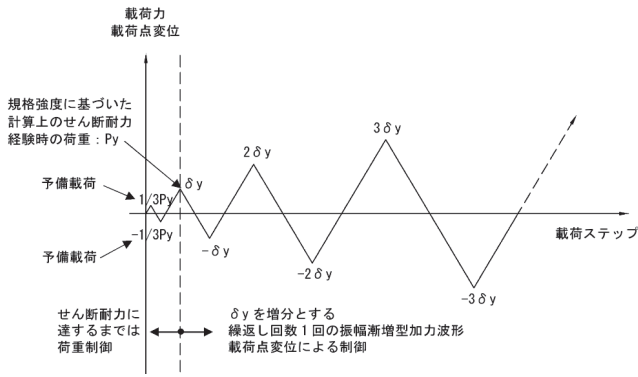


図-11 荷重方法

②実験結果

図-12 に実験後の供試体写真とひび割れ状況を示す。また、図-13 に荷重-変位 (P-δ) 関係図を示す。図-13 より、供試体のせん断耐力 (1,015 ~ 1,050 kN) を確認した。これは RMA で補強する前のせん断耐力の計算値 (740 kN：コンクリートが受け持つ分は二羽ら式<sup>1)</sup>により算定) を上回る結果である。また、ここでは割愛するが、別実験において、あと施工のせん断補強だけがない供試体の耐力が、この計算値と同等であることを確認している。

以上より、本工法によるせん断補強効果が確認された。

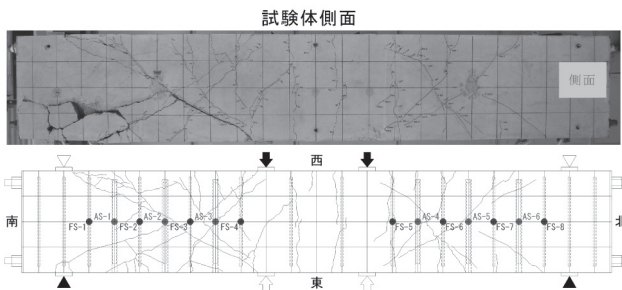


図-12 実験後の供試体写真とひび割れ状況

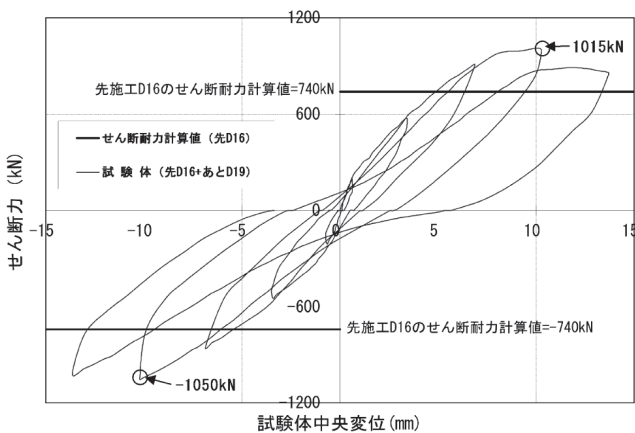


図-13 荷重-変位 (P-δ) 関係

5. 設計方法

本工法でのせん断補強効果は、「アルカリ骨材反応を受けて破断したせん断補強鉄筋のせん断耐力評価」<sup>2)</sup>を用いて評価することとした。その概念を図-14に示す。同図は、端部にフックを持たないせん断補強筋の負担できるせん断力を、せん断ひび割れからの定着長にしたがって線形で仮定したものである。

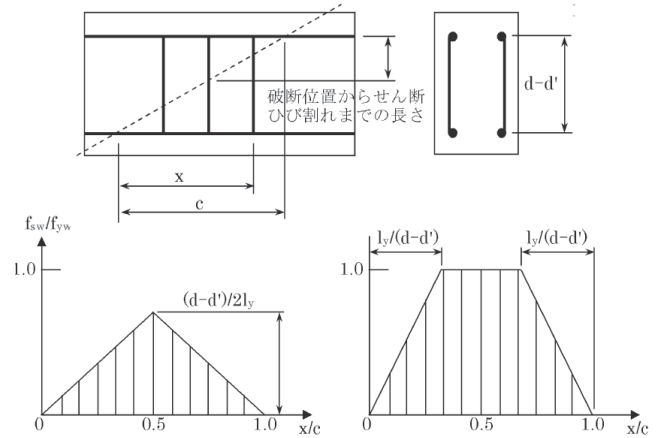


図-14 斜めひび割れ内の破断したせん断補強鉄筋応力

図-14 から、通常のせん断補強筋に比べて端部にフックを持たない補強筋の負担できる応力の低下率 η は、下式で表すことができる。

$$\eta = (d - d') / (4 \cdot ly) \quad \text{if } (d - d') \leq 2ly \quad (1)$$

$$\eta = 1 - ly / (d - d') \quad \text{if } (d - d') > 2ly \quad (2)$$

ここに、η：補強筋の負担応力の低下率

d,d'：上面側、下面側の主鉄筋の位置

ly：補強筋の基本定着長

この η を本工法によるあと施工せん断補強筋の有効率 βaw とする。本工法の適用範囲を式 (2) の範囲とすれば、βaw は下式 (3) で表せる。

$$\beta aw = 1 - ly / (d - d') \quad \text{ただし } (d - d') > 2ly \quad (3)$$

ここに、

βaw：本工法によるせん断補強筋の有効率

ly：補強鉄筋の基本定着長 = 6D

式 (3) より、今回せん断実験での供試体 (d = 530 mm, d' = 70 mm, ly = 6D = 114 mm) の理論上の補強筋の有効率は βaw = 0.75 となる。一方、実験結果から補強筋の有効率を算定すると βaw = 0.80

表一 2 本工法のせん断補強鉄筋の有効率

単位:kN

せん断耐力				有効率			
計算値				$V_{y\_exp}$	$V_{RMA}$ $=V_{y\_exp} - (V_c+V_s)_{cal}$	$\beta_{aw}$ $=V_{RMA} / V_{s'_{cal}}$	$\beta_{aw\_cal}$
$V_{c\_cal}$	$V_{s\_cal}$	$V_{s'_{cal}}$	$V_{y\_cal}$ $=V_c+V_s+V_{s'}$				
512	228	344	1083	1015	276	0.80	0.75
<ul style="list-style-type: none"> <li><math>V_{y\_cal}</math> :せん断耐力(計算値)</li> <li><math>V_{y\_exp}</math> :せん断耐力(試験値)</li> <li><math>V_{RMA}</math> :本工法のせん断補強鉄筋負担せん断耐力(試験値)</li> </ul>					<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\beta_{aw}</math> : <math>V_{RMA}</math> の有効率</li> <li><math>\beta_{aw\_cal}</math> : 計算による 本工法でのせん断補強鉄筋の有効率</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li><math>V_{c\_cal}</math> :コンクリート負担せん断耐力(計算値:二羽式)</li> <li><math>V_{s\_cal}</math> :帯状せん断補強鉄筋(先施工)負担せん断耐力(計算値)</li> <li><math>V_{s'_{cal}}</math> :本工法のせん断補強鉄筋を通常のせん断補強鉄筋と見なした場合のせん断補強鉄筋負担せん断耐力(計算値)</li> </ul>							

であった(表一2)。ゆえに、設計は安全側の式(3)(理論値)を用いて行うものとした。ただし、実験の供試体厚が600mmであったことから、600mm以上の壁厚の場合は、 $\beta_{aw} = 0.75$ とし、 $\beta_{aw}$ に上限を設けることとする。

## 6. おわりに

以上が、RMA工法の概要と、性能確認実験および設計方法の概要である。詳細については、一般財団法人土木研究センターの建設技術審査証明報告書「RMA」(平成24年9月発行予定)を参照されたい。

現在、RMA工法のせん断補強鉄筋はD13~D25を標準としているが、今後はコスト低減に向けて太径の適用性などを研究していく予定である。

なお、宮城県沿岸地域で採用されたRMA工法による補強構造物は、東日本大地震においても損傷はなかったことを付け加えておく。

最後に、本工法の開発にあたっては、早稲田大学清宮理教授より、細部にわたり懇切丁寧なご指導をいただいた。ここに深甚なる感謝の意を表する。

### 【参考文献】

- 1) 二羽淳一郎, 山田一字, 横沢和夫, 岡村甫, せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価, 土木工学論文集, No.372/V-5 pp.167-176, 1986.
- 2) 土木学会, アルカリ骨材反応対策小委員会報告書, 2005.9.

### 【筆者紹介】



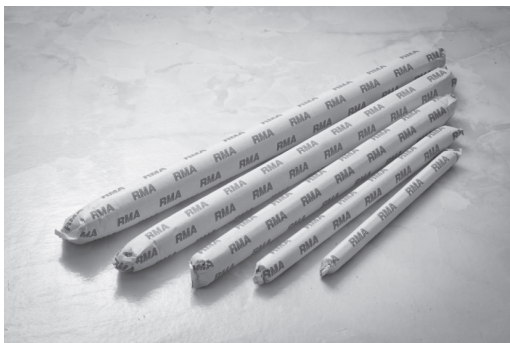
竹本 幸弘 (たけもと ゆきひろ)  
 (株)ケー・エフ・シー  
 技術部  
 技術課長



佐竹 辰州 (さたけ たつくに)  
 (株)ケー・エフ・シー  
 営業企画推進部  
 係長



羽馬 徹 (はば とおる)  
 (株)ケー・エフ・シー  
 取締役  
 技術部長



写真一 3 モルタルカプセル RMA