

# PCM吹付け工法によるCFRPグリッドを用いたRCはりのせん断補強効果 および補強部界面の付着特性

九州大学大学院 学生会員 ○郭瑞 九州大学大学院 正会員 山口浩平  
九州大学大学院 フェロー会員 日野伸一 (株)SNC 正会員 宮野暢紘

## 1. 目的

樋門は河川堤防を横断して設置される構造物で、河川水の取水や堤内地からの排水に利用され、出水時には河川堤防としての機能も求められる治水安全上重要な構造物である。しかし、東日本大震災では樋門の多くが破壊されており、特に不等沈下などによる隔壁の面内のせん断補強の必要性が指摘されている。著者らはこれまでに地下構造物の中でも樋門構造物を対象とし、CFRPグリッドとポリマーセメントモルタル(以下、PCM)を用いたせん断補強工法の開発を行ってきた<sup>1)</sup>。

本研究では、せん断補強効果を検討するために、グリッドで補強する際の補強範囲をパラメーターとして検討した。なお、既設コンクリートとPCMの補強部界面の付着特性についても、付着特性を考慮した数値解析により検討した。

## 2. 試験概要

試験体は樋門構造物(函体)を切り出したRCはりとし、断面寸法(高さ×幅)を650×400mm、スパン長3450mmとしたI桁である。基準となる無補強のP-0、グリッドにより壁部であるウェブのみを補強したP-1、ウェブに加えてハンチまで補強したP-2の3種類、それぞれ1体の試験体を作製した。なお、せん断補強鉄筋の量は実構造物と同一であるが、主筋の鉄筋量はせん断破壊先行型とするため実構造物よりも多く配筋した。図-1に試験体の形状、配筋、グリッドによるせん断補強の概略図を、表-1, 2にコンクリート、PCM、グリッドの材料特性値を示す。コンクリートは実構造物を想定して設計圧縮強度 $f'_{cd}=21\text{N/mm}^2$ とした。なお、試験体は実構造物の1/3相当(実構造のハンチ高さ:300mm、試験体:75mm)のため、P-2のハンチでは2格点の定着とした。

## 3. 解析概要

解析は汎用FEMパッケージDianaを用いて、3次元非線形解析を行った。境界条件は支承位置を線支持、載荷点は載荷板を模した線載荷とし、支承はトラス要素、載

荷板にはカーブシェル要素を用いた。荷重は、はり鉛直方向の変位増分とした。コンクリートは三角柱、四角柱ソリッド要素、鉄筋およびグリッドは埋込み鉄筋要素を用いた。また、補強部界面の付着特性をモデル化するために、コンクリートとPCMの界面にインターフェイス要素を用い、図-2に示すすべり関係を定義した。コンクリートおよびPCM、鉄筋、グリッドの構成則では、コンクリート、PCMの圧縮側は強度試験結果を、引張側は既往研究<sup>2)</sup>で提案されている引張軟化曲線を適用した。鉄筋は、Von Misesの降伏条件を適用して、降伏強度まで線形で増加し、その後は応力一定でひずみのみ増加するバイリニアモデルとした。グリッドは、降伏強度に達したら応力およびひずみがゼロになるバイリニ

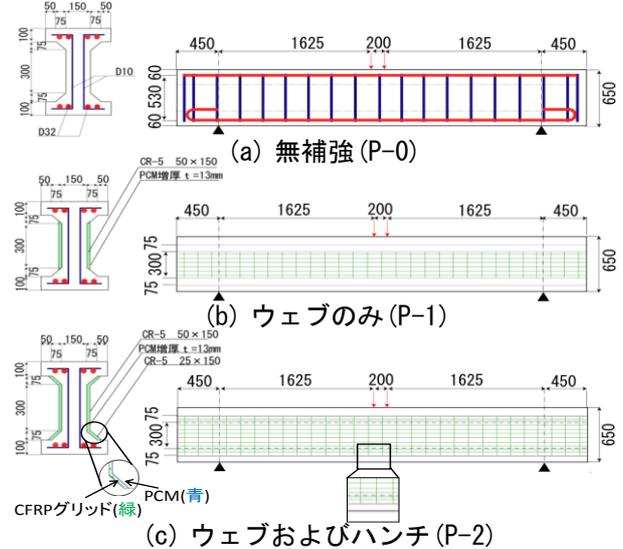


図-1 試験体概略図

表-1 コンクリート、PCMの材料特性値(実測値)

材料	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート (P-0)	22.4	3.05	1.04	2.44
コンクリート (P-1, 2)	22.2	4.58	1.38	2.45
PCM	72.7	10.1	3.16	2.70

表-2 CFRPグリッドの材料特性値(公称値)

筋番	1本当たり断面積 (mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> )
CR-5	13.2	1400	1.00

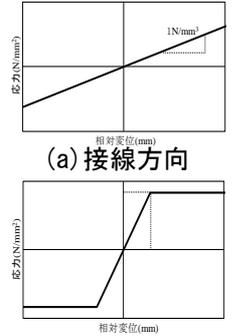


図-2 界面すべり関係

キーワード CFRPグリッド, PCM吹付け, せん断補強, 付着特性, FEM解析

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 ウェスト2号館 1104 TEL092-802-3392

アモデルとした。

#### 4. せん断耐力の評価

図-3 にせん断耐力の比較を示す。破壊形態は、全試験体ともせん断破壊であった。ウェブのみ補強のP-1は、無補強のP-0より、せん断耐力が17%向上している。また、ウェブおよびハンチ補強のP-2は、ウェブのみ補強のP-1と比べて、せん断耐力は14%向上している。また、グリッドは剥離などにより破断ひずみまで達しないとしてせん断耐力の評価するため、設計値では有効ひずみの考え方を適用した<sup>3)</sup>。実験値と設計値の比は、いずれも1.00以上であり、有効ひずみを考慮すれば安全側に評価できることがわかる。ただし、P-1の実験値と設計値の比はP-2のそれより小さいが、これはグリッドの定着力不足に起因するものであり、終局時に補強部界面に剥離が生じたためである。

#### 5. ひび割れ性状

FEMのひび割れ性状を主応力コンターで図-4に示す。ここで、P-0は最大荷重時、P-1およびP-2は、P-1の最大荷重時とした。各試験体とも、まず載荷点直下にひび割れ幅の小さな曲げひび割れが発生し、次いで支点と載荷点とを結ぶ線上に斜めせん断ひび割れが発生し、荷重が増加するにつれてひび割れ長さ、ひび割れ幅が進展し、最終的にはコンクリートの上縁の一部が圧壊した。またP-1とP-2を比較すると、P-2はP-1に比べて、はりの上下のハンチの応力が大きいことがわかる。これは、ひび割れによる損傷が大きい、ハンチのグリッドがせん断力を負担していることに加え、ハンチに発生したひび割れをグリッドとPCMによって面で抑えているためであると考えられる。また、上下側のハンチに発生する応力の違いとも整合しており、ハンチまでグリッドを配置することにより、補強部界面の付着特性が向上して十分な定着力が確保されていることが示唆された。

#### 6. 補強部界面の付着特性

ハンチまで補強していないP-1は、補強部界面に剥離が生じたので、補強部界面の付着特性について数値解析により検討した。補強試験体P-1、P-2に対して、コンクリート側に5mm、PCM側に5mmの10mm離れた箇所の補強部界面の接線(面内)方向の相対変位について検討した。相対変位検討位置を、荷重-相対変位関係を図-5、図-6にそれぞれ示す。ウェブ(W)では、P-1は、荷重500kN程度で相対変位が急増して、その界面が剥離したことが再現されている。P-2は荷重600kN程度ま

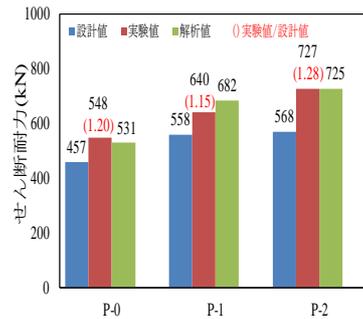


図-3 せん断耐力の比較

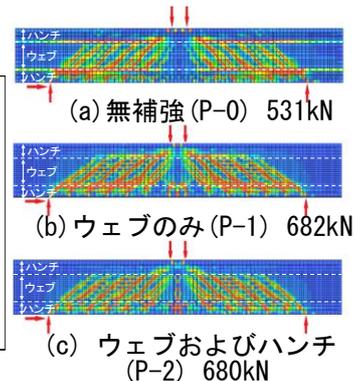


図-4 応力コンター図

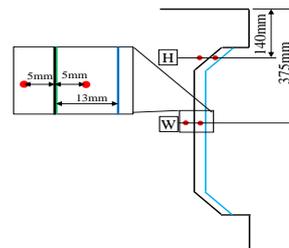


図-5 相対変位検討位置

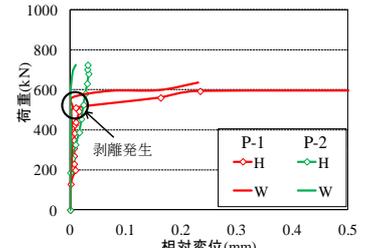


図-6 荷重-相対変位の関係

で相対変位はほとんど生じず、終局時のコンクリート、PCMの破壊により最終的には相対変位が若干生じた。ハンチ(H)におけるP-1とP-2の比較では、P-1は、低荷重時から相対変位は線形的に増加傾向にあり、終局時には急増している。一方、P-2は、終局時まで相対変位は急増しておらず、グリッドの破壊性状や強部界面の付着性状を再現できた。

#### 7. 結論

- 1) グリッドによりウェブおよびハンチを補強した試験体のせん断耐力は、無補強のものに比べ向上し、解析値と同等であった。また有効ひずみの考え方をを用いることで、実験値と設計値の比は1.00以上であり、安全側に評価できる。
- 2) 補強部界面の付着特性をモデル化することにより、ウェブのみ補強P-1では、相対変位が急増して、補強部界面は剥離した。ハンチまで補強したP-2は、P-1より補強部界面の付着特性が向上して十分な定着力が確保されていることがわかった。

#### 参考文献

- 1) 宮野暢紘, 山口浩平, 谷口碩士, 日野伸一: PCM吹付けによるCFRPグリッドを用いたRCはりのせん断補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, pp.1423-1428, 2013.7
- 2) コンクリート委員会: コンクリート標準示方書, 設計編, 2008.3
- 3) 金丸亜紀, 郭瑞, 山口浩平, 日野伸一, 宮野暢紘, 原田樹菜: FRPグリッドによる樋門函体隔壁のせん断補強, 土木学会西部支部研究発表会, V-045, 2014.3