

## 無筋橋脚にディンプル鋼管を挿入した場合の補強効果に関する検討

新日鐵住金 正会員 ○富永 知徳 寺田 春雄

鉄道総合研究所 正会員 田中 章 正会員 仁平 達也

JR 総研エンジニアリング 正会員 川野 有祐 正会員 西村 昭彦

### 1. はじめに

無筋橋脚では、大規模地震により打継ぎ目のずれに起因した損傷事例がある。これに対する補強工法として、橋脚天端から削孔し鋼棒等を挿入する工法が提案されている。著者らは鋼棒に代わり、**図1**に示す、鋼管の表面に凹凸を形成し付着強度を高めたディンプル鋼管<sup>1)</sup>を挿入する工法を開発した。本工法の補強効果を確認するために、柱試験体を用いた載荷試験を実施した。

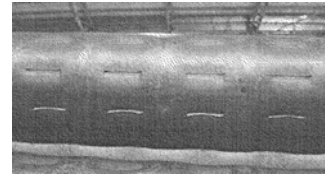


図1 ディンプル鋼管

### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体の形状

表1と**図2**に試験体を示す。試験体はNo.1～No.3の3体であり、No.1は基準試験体として鋼棒(φ30)を挿入した試験体と、No.2とNo.3は、鋼棒と同程度の断面積を有するディンプル鋼管(65A(φ76.3mm, 鋼管厚さ3.2mm))を挿入した試験体である。No.1とNo.2は中立軸位置に2本配置し、No.3は、挿入箇所が及ぼす影響を把握するために端部から300mm位置に配置した。基部より400mmの位置で打継ぎ目を設け、塩化ビニールシートで縁切りを行った。予め削孔した所定箇所に鋼棒とディンプル鋼管を打継ぎ目から500mm深さの位置まで挿入する補強方法とした。その後、鋼管内の中空断面も含む削孔内を無収縮モルタルで充填した。鉛直軸力は橋脚上部に鋼橋が設置された無筋橋脚を想定し280kN(0.2N/mm<sup>2</sup>)とした。表2と表3に材料試験結果を示す。

表1 挿入した鋼材および配置位置

試験体	挿入した鋼材	配置位置
No.1	鋼棒(φ30)	中立軸
No.2	ディンプル鋼管	
No.3	(65A)	端部から300mm

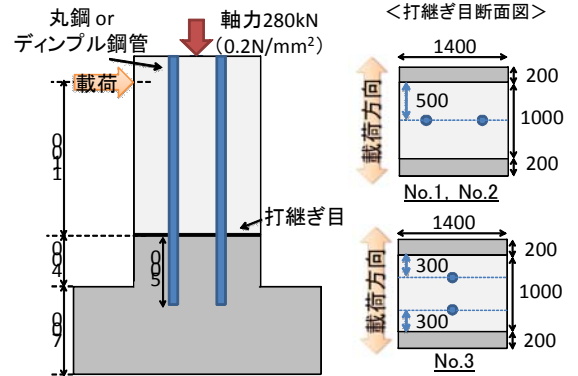


図2 試験体の形状(単位mm)

表2 鋼材の材料試験結果

種類	降伏応力(N/mm <sup>2</sup> )	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ(μ)
鋼棒	544	586	2720
ディンプル鋼管	256	493	1280

表3 コンクリートの材料試験結果

試験体	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数(kN/mm <sup>2</sup> )	割裂引張強度(N/mm <sup>2</sup> )
No.1	24.1	26.8	1.9
No.2	23.4	28.0	1.9
No.3	24.3	28.9	2.2

#### 2.2 載荷方法

No.1の試験体を用いて、軸力280kNを載荷した上で水平荷重を載荷し、補強前の最大荷重を5回測定した(2.3.1)。補強後は同一変位(δ<sub>n</sub>)整数倍繰返し漸増載荷を3サイクル行った(2.3.2)。

#### 2.3 実験結果

##### 2.3.1 補強前載荷試験

**図3**に補強前載荷試験の荷重-変位関係を示す。打継ぎ目が十分にずれる±1mm程度の水平変位を与えた結果、5サイクルの最大荷重の平均値は、**表4**に示すように、63.8kNとなった。

##### 2.3.2 補強後載荷試験

**図4**にNo.1の荷重-変位関係を示す。挿入した鋼棒に添付したひずみゲージが降伏ひずみ到達前に破断したため、剛性が十分に变化した変位をδ<sub>n</sub>とし、部材角1/250(rad)時の変位4.4mmとした。最大荷重は1δ<sub>n</sub>の1サイクル時の232kNとなった。**図5**に載荷終了後の打継ぎ目の損傷状況を示す。鋼棒とコンクリートとの付

キーワード 耐震補強, 無筋橋脚, ディンプル鋼管

連絡先 〒100-8071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 TEL03-6867-6401

着切れが発生し、打継ぎ目周辺のコンクリートの支圧破壊が進行したことにより荷重低下したことが推測された。

図6にNo.2, 図7にNo.3の荷重-変位関係を示す。ディンプル鋼管の降伏は、No.2が荷重243kN, 変位1.8mm, No.3が荷重256kN, 変位2.0mmで生じた。 $\delta_n$ を部材角1/500(rad)時の変位2.2mmとした。No.2は $4\delta_n$ の1サイクル時に最大荷重320kNとなり荷重低下した。No.3は $3\delta_n$ の1サイクル時に305kNとなった。図7が図6に比べて紡錘形の履歴形状を示したのは、載荷方向に対して鋼管が異なる断面高さにあったことに起因する。

図8と図9に示すように、No.2は $5\delta_n$ 時、No.3は $4\delta_n$ 時に、ディンプル鋼管を起点とした斜め方向のひび割れが発生した。このひび割れが基部に配置したアンカー筋と交差し、荷重-変位関係に影響を及ぼしたことが考えられたため、安全側にNo.2は $4\delta_n$ まで、No.3は $3\delta_n$ までの評価とした。よって、No.3の最大荷重は305kNとした。なお、両試験体ともに、 $1\delta_n$ 以降、目視により打継ぎ目のコンクリートの圧壊が確認された。

2.3.3 補強効果の確認

最大耐力は補強前よりもNo.1が3.6倍、No.2が5.0倍、No.3が4.8倍となり鋼棒

やディンプル鋼管の挿入による補強効果を確認した。鋼棒よりもディンプル鋼管の方がより高い補強効果が得られたのは、凹凸があるディンプル鋼管が鋼棒より高い付着強度があること等に起因すると考えられる。

No.2とNo.3は、ディンプル鋼管の降伏時において、打継ぎ目でのせん断ずれよりも曲げ変形の影響が卓越したことが推測された。そこで、ディンプル鋼管の中空部分は考慮せずに重心位置に断面積を有する引張材としたRC断面として、平面保持を仮定し、No.2とNo.3の降伏荷重の実験値と計算値を比較した。実験値は、鋼管に配置したひずみゲージが降伏ひずみに到達した荷重である。実験値/計算値は、No.2は0.86, No.3は1.04となり概ね評価出来る結果となった。なお、実構造物において同様の評価を行う場合には、図8や図9に示すような、脆性的な破壊に至る、押し抜きせん断によるひび割れ等が降伏前に生じないようにディンプル鋼管を配置する必要があると考える。

3. まとめ

- ・無筋柱の打継ぎ目の補強を目的として、鋼棒を挿入すると最大荷重が3.6倍、ディンプル鋼管を挿入すると5.0倍程度増加し、鋼棒よりもディンプル鋼管の挿入により高い補強効果が得られることを確認した。
- ・ディンプル鋼管を引張材としたRC断面として平面保持を仮定すると実験値の降伏荷重を概ね評価出来た。

参考文献: 1) 妙中ら: オンライン窪み成型技術による小口径ディンプル鋼管の開発, 新日鐵住金技報, Vol.397, pp.100-105, 2013

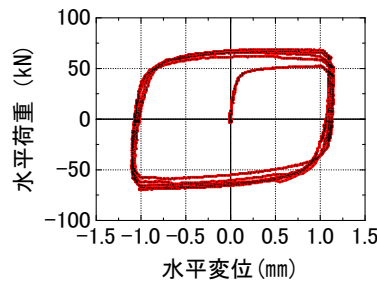


図3 荷重-変位関係 (補強前)

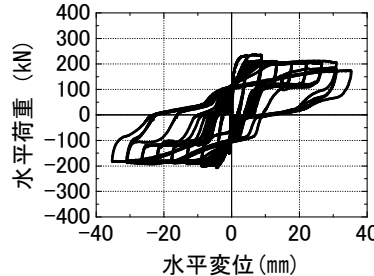


図4 荷重-変位関係 (補強前)

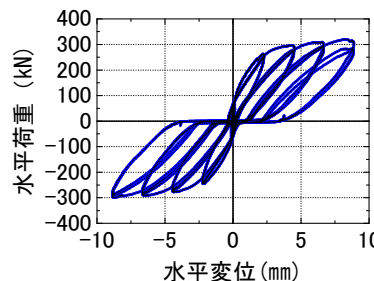


図6 荷重-変位関係 (No.2)

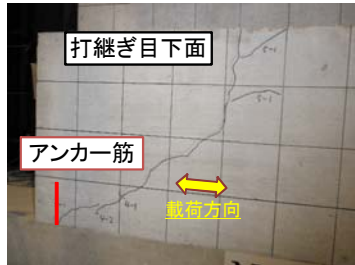


図8 試験体のひび割れ (No.2)

サイクル	正側 (kN)	負側 (kN)
1	52.7	59.2
2	62.1	63.9
3	65.8	64.8
4	65.8	65.8
5	68.7	68.7
平均 (kN)		63.8
標準偏差 (kN)		4.4



図5 打継ぎ目の損傷状況 (No.1)

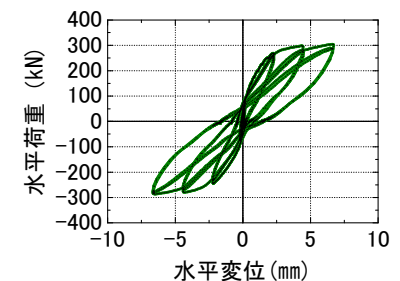


図7 荷重-変位関係 (No.3)



図9 試験体のひび割れ (No.3)