

鉄筋を内蔵したコルゲートチューブとモルタルの曲げ性能に関する基礎研究

正会員 ○山本 貴正 1\*  
同 白田 太 2\*  
同 山田 和夫 3\*

付着割裂破壊      かぶり厚      曲げひび割れ  
最大曲げモーメント

1. はじめに

前報<sup>1)</sup>に引き続き、鉄筋を内蔵したコルゲートチューブ(以下、鉄筋内蔵 CT)とモルタルの曲げ性能について実験的に検討したので、その結果などを報告する。

2. 実験概要

2.1 検討項目

検討項目は、かぶり厚さが比較的小さく、中央に鉄筋が配置された長方形の鉄筋補強モルタルの曲げ性能に及ぼす CT 有無, CT 公称径および鉄筋径の影響である。

2.2 使用材料

グラウト材とモルタルに使用した水は水道水、セメントは普通ポルトランド(密度 3.15g/cm<sup>3</sup>, 比表面積 3250cm<sup>2</sup>/g), 細骨材は多治見市大畑町産の山砂(表乾密度 2.55g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 1.78%, 実積率 65.3%), 混和剤は高性能減水剤(主成分はポリカルボン酸系コポリマー)である。CT は市販のポリプロピレン製(蛇腹形状, スリット無)の公称径 17.5mm(公称内径: 13.2mm, 公称波長: 3.5mm)と 23.7mm(公称内径: 23.7mm, 公称波長: 3.6mm)を、鉄筋は市販の呼び名 D10 と D25 の異形棒鋼を使用した。

2.3 試験体作製

グラウト材およびモルタルのセメント水比はそれぞれ 4.0 および 1.7, モルタルの砂セメント比は 3.5 とした。グラウト材は、セメント質量比 6.0%の混和剤を添加している。モルタル単体の円柱試験体および鋼製三連型枠で長方形試験体をそれぞれ成形した。鉄筋補強モルタルの曲げ試験体の鉄筋内蔵 CT および鉄筋は、モルタル打設時に位置を確保するため、型枠板の側面中央に設けたそれぞれ CT 公称径および鉄筋公称径の+2.0mm 寸法の開孔に通している。モルタルが漏れないように、開孔の隙間を布テープで被覆した。試験体の養生は、型枠を脱型したモルタル打設の翌日から強度試験実施まで水中とした。

2.4 実験方法

図-1 に示すスパン 150mm の一点集中載荷の単純梁曲げ試験を実施した。試験体中央に変位計を設置し、たわみを測定している。なお、試験機のラムストロークを毎分 0.3mm として試験を実施している。モルタル単体の曲げ試験および圧縮試験は、それぞれ JIS R 5201:2015 および JIS A 1108:2006 に準拠した。圧縮試験に併せて、JIS A 1149:2010 に準拠してヤング係数を計測している。

3. 実験結果・考察

3.1 最終破壊状況

曲げ試験体の最終破壊状況は付着割裂である。また全試験体共通して、荷重載荷点付近において最大曲げ荷重到達前に、曲げひび割れを目視で観察することができた。

3.2 曲げモーメントと中央たわみの関係

図-2 に、曲げモーメント(M)と中央たわみの関係の例を示す。縦軸は、次式で算出したモルタル単体の曲げひび割れモーメント(M<sub>b</sub>)で除してある。

$$M_b = Z \cdot f_b, \quad Z = \frac{b \cdot h^2}{6} \tag{1}$$

ここに、b:曲げ試験体幅の実測値, h:曲げ試験体高の実測値, f<sub>b</sub>:母材モルタルの曲げ強度(5.98N/mm<sup>2</sup>)

同図に示すように、曲げモーメントと中央たわみの関係は、最大曲げ荷重到達まで、荷重が劣化した後に再び上昇する現象が生じている。ここでは、第1ピークと呼ぶ。なお、第1ピークは、CT 有無に関係なく、モルタル単体のひび割れモーメント付近で生じている。

3.3 第1次ピークのモルタルの曲げ応力度

図-3 に、第1ピーク時の最外縁曲げ応力度(以下、曲げ応力度)と各種要因の関係を示す。同図には、既報<sup>1)</sup>の結果も併せて示してある。本実験の CT 公称径 17.5mm の鉄筋内蔵 CT を有する試験体および通常鉄筋 D25 を有する試験体は、それぞれ1体が第1ピークの発生を確認できない

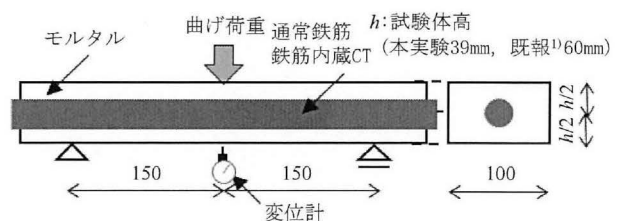
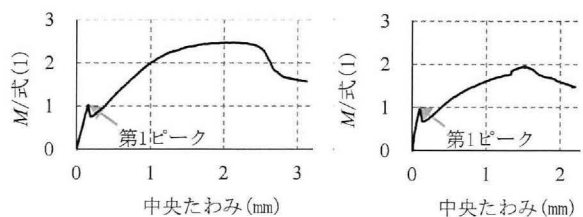


図-1 単純梁曲げ試験の概要



(a) 高39mm・CT公称径23.7mm (b) 高39mm・D10

図-2 曲げ荷重と中央たわみの関係の例

ため、および最大荷重付近で第1ピークが生じたため、標本数は2である。このことから、図中のデータを標本値としている。なお、第1ピーク時の曲げ応力度( $\sigma_{m1}$ )については、平面保持を仮定して、鉄筋の曲げ応力度を無視した、およびかぶり厚補強筋径が比較的小さいため鉄筋の曲げ応力度を考慮したそれぞれ次式で算出している。

$$\sigma_{m1} = \frac{M_{m1}}{Z}, \quad Z = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (2)$$

$$\sigma_{m1} = \frac{M_{m1}}{Z - Z_s \left(1 + \frac{E_s \cdot D}{E_m \cdot h}\right)} \quad (3)$$

ここに、 $M_{m1}$ :1次ピーク時の曲げモーメント、 $Z_s$ :鉄筋の断面係数、 $E_s$ :鉄筋のヤング係数 205kN/mm<sup>2</sup>、 $E_m$ :母材モルタルのヤング係数(24.5kN/mm<sup>2</sup>)、 $D$ :鉄筋公称径

式(3)は、計算結果への影響は小さいと仮定して、CTおよびグラウト材の断面かつヤング係数をモルタルのそれぞれに置き換えている。図中の実線、破線、一点鎖線、および点線は、それぞれ母材モルタルの曲げ強度の標本平均( $m$ )、 $m \pm$ 標本標準偏差( $s$ )、 $m \pm 2s$ および $m \pm 3s$ である。既報の実験と本実験の母材モルタルの曲げ強度は、平均値に差がないとして<sup>注1)</sup>、既報の実験における母材モルタルの曲げ強度の標本平均および標本標準偏差またヤング係数を、それぞれ本実験の試験値とした。

同図より、式(2)で算出した第1ピーク時の曲げ応力度の各標本値は、設計高39mmの本実験の通常鉄筋D25を有する試験体を除き、CT有無ともに、 $m \pm 2s$ および $m \pm 3s$ に存在していることがわかる。一方、式(3)で算出した第1

ピーク時の曲げ応力度の各標本値は、 $m \pm 2s$ および $m \pm 3s$ に存在していることがわかる。このことから、鉄筋内蔵CTを有する曲げ試験体は、通常鉄筋のそれと同様に、モルタルの曲げひび割れ発生時に、第1ピークが生じている可能性があるとして推測できる。また以上より、第1ピーク後の荷重劣化は、モルタルの曲げひび割れ発生で、曲げ引張力の鉄筋の負担が増え、圧縮縁から中立軸までの距離が小さくなることで起きていると考えられる。

### 3.4 最大曲げモーメント

表-1に、式(1)に対する最大曲げモーメント(以下、補強効果比)を示す。本実験のD10の鉄筋を有する試験体、これら補強効果比の平均値の差は、分散分析すると、実質有意水準は0.199であり、有意水準0.05であるとはいえない。同一断面寸法かつ鉄筋径の曲げ試験体は、鉄筋内蔵CTのCT径が大きいくほど、かぶり厚補強筋径比が小さくなり付着割裂破壊時の付着応力度は低くなるが、付着区間表面積は大きくなる。それゆえ鉄筋D10の通常鉄筋と鉄筋内蔵CTの補強効果比の差は表れにくいと推測できる。

表-1より、本実験のCT公称径23.7mmの鉄筋内蔵CTを有する曲げ試験体の補強効果比の標本平均値は、通常鉄筋D25を有するそれより低いことがわかる。これは、前述3.3より、最大曲げ荷重時の曲げ試験体の鉄筋も曲げ抵抗していると仮定すると、鉄筋内蔵CTを有する曲げ試験体の付着割裂破壊時の応力分布が、通常鉄筋のそれと異なることが起きていると考えられる。このことについて、数値的に証明することが、今後の課題として挙がる。

### 4. おわりに

本論で得られた知見を、次のように整理する。1)鉄筋内蔵CTを有する曲げ試験体の第1ピークは、その通常鉄筋と同様に、モルタルの曲げひび割れ発生時に生じている可能性がある。2)鉄筋呼び名D10が中央に配置しされたモルタルの最大曲げモーメントに及ぼすCT有無およびCT径それぞれの影響は表れにくい。

**謝辞** 本稿の研究成果は、2017年度公益財団法人内藤科学技術振興財団研究助成および平成30年度愛知工業大学研究特別助成の支援による。また本実験を遂行するにあたり、大畑卓也助教(豊田高専環境都市工学科)、波多野結依さん(豊田高専専攻科生)のご助力を得た。

**脚注** 1)曲げ強度の平均値の差をt検定すると、実質有意水準0.080であり、有意水準0.05では差があるといえない。

**参考文献** 1)山本貴正,熊谷菜祐,波多野裕依,今岡克也,山田和夫:鉄筋を被覆したコルゲートチューブとモルタルの付着性能に関する基礎研究,日本建築学会東海支部研究報告集,第56号,pp.45-48,2019.2

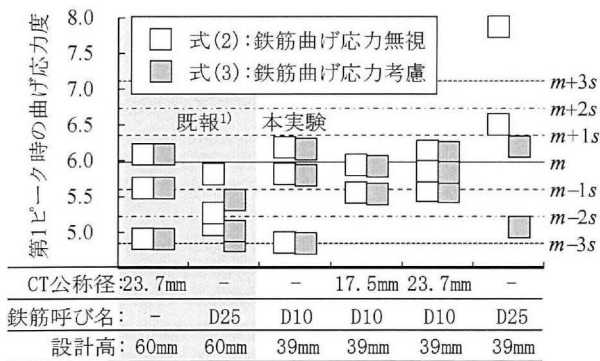


図-3 第1ピーク時の曲げ応力度の標本値

表-1 最大曲げモーメント(本実験)

CT公称径 (mm)	鉄筋呼び名	最大曲げモーメント/式(1) 標本平均	最終破壊 標本変動係数	最終破壊 状況
17.5	-	2.27	7.04%	付着割裂
23.7	D10	2.38	8.53%	付着割裂
-	-	2.11	4.31%	付着割裂
-	D25	4.85	6.99%	付着割裂

1\* 愛知工業大学工学部建築学科 准教授 博士(工学)

2\* 国立豊田工業高等専門学校建築学科 講師 博士(工学)

3\* 愛知工業大学工学部建築学科教授 工博

1\* Associ. Prof., Department of Architecture, Faculty of Eng., Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.

2\* Assist. Prof., Department of Architecture, National Institute of Technology, Toyota College, Dr. Eng.

3\* Prof., Department of Architecture, Faculty of Eng., Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.