

論文 鉄筋を内蔵したコルゲートチューブとモルタルとの付着性能に関する基礎研究

山本 貴正*1・大畑 卓也*2・山田 和夫*3

要旨： 塀や間仕切り壁に使用される空洞レンガ積みは、美観性をさらに高めるため、かぶり厚を規定されている制限値以下にすることが望まれている。著者らは、コルゲートチューブ(CT)の芯に無被覆鉄筋を配置し、隙間にグラウト材を充填した補強筋(鉄筋内蔵 CT)を従来の鉄筋の代替とすれば、上述の望みを満たせると考えた。本論では、鉄筋内蔵 CT とモルタルとの付着性能について実験的に検討し、その結果、鉄筋内蔵 CT の付着応力伝達機構は、その通常の鉄筋と同程度の可能性があること、鉄筋呼び名 D10 が中央に配置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、などの知見を得た。

キーワード： 片側引抜き試験, 非付着区間, かぶり厚, 付着割裂破壊, 曲げひび割れ, 最大曲げモーメント

1. はじめに

塀や間仕切り壁に使用される空洞レンガ積みは、美観性をさらに高めるため、かぶり厚を規定されている制限値以下にすることが望まれている。そこで、主筋である鉄筋の発錆を抑制する経済的な構法の提案が求められる。

以上を背景に、著者らは、幅広い分野で使用されている安価なかつ錆びないプラスチック樹脂製のコルゲートチューブ(以下、CT)に注目した。CTの芯に無被覆鉄筋を配置し、隙間にグラウト材を充填した補強筋(以下、鉄筋内蔵 CT)を従来の鉄筋の代替とすれば、特殊な生産管理が不要かつ現場施工が可能でもあるため、経済的にも優れた鉄筋の発錆抑制になり、上述の望みを満たすことが可能であると考えた。

本論では、鉄筋内蔵 CT の付着性能の基礎的資料を得ることを目的として、鉄筋内蔵 CT とモルタルとの付着性能について、片側引抜き試験の引抜き荷重と単純梁曲げ試験の曲げ荷重に関する実験を通じて検討している。

2. 実験概要

2.1 実験要因・試験体概要

表-1に、実験要因また試験体概要を示す。表(a)中の荷重端側非付着区間は、片側引抜き試験の載荷板からの応力を均一化して、試験誤差を小さくするために設けられる¹⁾。

2.2 試験体使用材料

(1) 鉄筋・コルゲートチューブ

CTは市販のポリプロピレン製(スリット無)の図-1に示す公称径17.5mmと23.7mmを、鉄筋は市販の呼び名D10とD25の異形棒鋼を使用した。

(2) セメント硬化体

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/cm³、比表面積3250cm²/g)、細骨材は多治見市大畑町産の山砂(表乾密度2.55g/cm³、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。

表-1 実験要因・試験体概要

(a) 引抜き荷重に関する実験

| 実験名称 | 試験体荷重載荷面設計短手幅x長手幅 | 荷重端側非付着区間 | CT公称径(mm) | 鉄筋呼び名 | 計画標本数 |
|------|-------------------|-----------|-----------|-------|-------|
| 予備実験 | 150mmx150mm | 無 | 23.7 | D10 | 2 |
| | | 有 | - | | |
| 本実験 | 39mmx100mm | 有 | 17.5 | D10 | 3* |
| | | | 23.7 | | |
| | | | - | D25 | 3 |

*内1体は型枠脱型時に母材が欠けたため実標本数は2である。

(b) 曲げ荷重に関する試験

| 実験名称 | 試験体設計高x設計幅 | せん断スパン長 | CT公称径(mm) | 鉄筋呼び名 | 計画標本数 |
|------|------------|---------|-----------|-------|-------|
| 予備実験 | 60mmx100mm | 150mm | 23.7 | D10 | 3 |
| | | | - | D25 | |
| 本実験 | 39mmx100mm | 150mm | 17.5 | D10 | 3 |
| | | | 23.7 | | |
| | | | - | D25 | 3 |

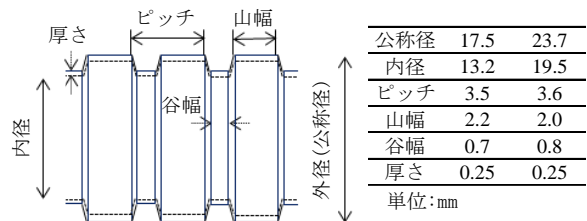


図-1 コルゲートチューブ(CT)の寸法

*1 愛知工業大学 工学部建築学科准教授 博士(工学) (正会員)

*2 国立豊田工業高等専門学校 環境都市工学科助教 博士(工学) (正会員)

*3 愛知工業大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

2.3 試験体作製

(1) 鉄筋内蔵 CT

引抜き荷重に関する予備実験の鉄筋内蔵 CT は、グラウト材の注入前の CT に、外側表面を布テープで養生かつ反らないよう角材を円周3等分点上に固定した後、D10の無被覆鉄筋を芯に配置して作製した。CTの底側に布テープを被覆し、注入時のグラウト材が漏れないようにしている。他の鉄筋内蔵 CT は、市販の塩ビ管へ挿入した CT にグラウト材を注入した後、鉄筋を芯に挿入して作製した。公称径 17.5mm および 23.7mm の CT を挿入した塩ビ管の公称内径は、それぞれ 20mm および 25mm である。塩ビ管と CT の隙間にグラウト材が流入しないように布テープを貼付している。上記の予備実験と同一の方法で、底側から注入時のグラウト材が漏れないようにしている。写真-1 は、鉄筋内蔵 CT の作製の風景である。引抜きおよび曲げ試験体を作製する日まで、鉄筋内蔵 CT を 7 日以上気中養生した。

(2) セメント硬化体

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。引抜き荷重に関する予備実験の鉄筋内蔵 CT に使用したグラウト材のみ、単体の長方形試験体を鋼製三連型枠で成形した。全ての実験で、モルタル単体の長方形試験体を鋼製三連型枠で成形している。なお、曲げ荷重に関する実験では、試験体に使用したモルタルの円柱試験体を成形した。

(3) 引抜き試験体

引抜き試験体の作製は、主に JSTM C 2101:1999²⁾ (以下、JSTM) に準拠した。鉄筋内蔵 CT を有する試験体の寸法は、JSTM に記載されている鉄筋公称径を CT 公称径に置換して、JSTM に準拠して設計している。試験体の寸法を表-2、引抜き試験体の概要を図-2 に示す。CT の付着力は、引抜き荷重を鉄筋のみに与え、グラウト材を介して伝達させた。予備実験の同一条件における試験体の標本数は 2 とした³⁾。

予備実験の試験体の荷重端側非付着区間(以下、非付着区間)は、CT 有では D10 の無被覆鉄筋とその周囲のグラウト材が注入されていない公称径 23.7mm の CT からなる。その他の試験体の非付着区間は、鉄筋 D10 については公称径 13mm の塩ビ管に挿入して、鉄筋 D25 は、布テープを厚さ 2mm 程度になるように巻き付けてモルタルと絶縁している。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。

(4) 曲げ試験体

曲げ試験体の作製は、主に前述 2.3(3)の引抜き荷重に関する本実験の引抜き試験体と同一の方法である。

2.4 強度試験方法

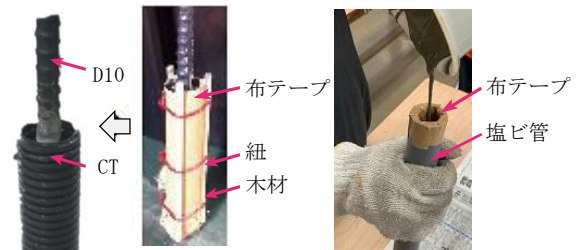
(1) 引抜き試験

JSTM に準拠して片側引抜き試験を実施し、最大引抜き荷重時の最大付着応力度(τ_{max})を次式で算出した。

$$\tau_{max} = \frac{P_{max}}{S} \alpha \quad (1)$$

ここに、 P_{max} : 最大引抜き荷重、 α : 母材の圧縮強度の補正係数[=30/母材の圧縮強度 (N/mm²)], S : 付着区間の表面積(以下、付着区間表面積)

母材の圧縮強度を母材モルタルの折片圧縮強度の標本平均(後掲表-3(a)参照)、後述 3.1(1)の最終破壊状況より、鉄筋内蔵 CT の付着区間の表面積を CT の外周表面積と



写真左: CTに鉄筋を挿入後、グラウト材注入
右: CTにグラウト材注入後、鉄筋を挿入

写真-1 鉄筋被覆CTの作製

表-2 引抜き試験体の寸法

| 実験名称 | 試験体荷重載荷面 設計短手幅x長手幅 | CT公称径 (mm) | 鉄筋 呼び名 | 設計長 | 設計 付着長 |
|------|-----------------------|---------------|-----------|-------|-----------|
| 予備実験 | 150mmx150mm | 23.7 | D10 | 150mm | 100mm |
| | | 17.5 | | 105mm | 70mm |
| 本実験 | 39mmx100mm | 23.7 | D10 | 150mm | 100mm |
| | | - | | 60mm | 40mm |
| | | | D25 | 150mm | 100mm |

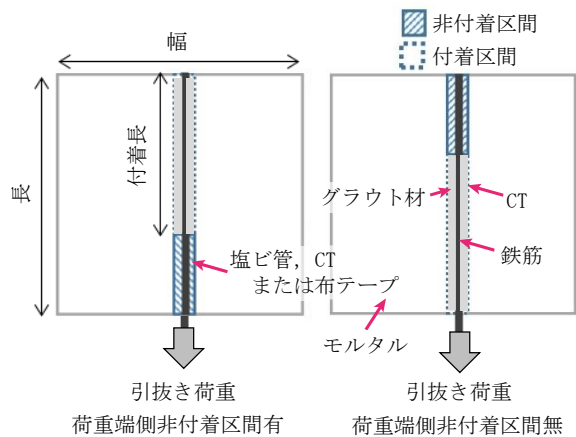


図-2 引抜き試験体の概要

した。表面積は、周長と付着区間長の積としている。鉄筋内蔵 CT および鉄筋の周長は、それぞれ CT 公称径と円周率の積および公称値である。

(2) 曲げ試験

図-3 に示すスパン 150mm の一点集中荷重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。

(3) 材料試験

グラウト材単体とモルタル単体の曲げ・折片圧縮強度試験およびモルタル単体の圧縮試験は、それぞれ JIS R 5201:2015 および JIS A 1108:2006 に準拠した。曲げ荷重に関する本実験では、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。鉄筋の引張試験は、JIS Z 2241:2011 に準拠した。これらセメント硬化体と鉄筋の材料試験結果が表-3 に示してある。

3. 実験結果・考察

3.1 引抜き荷重に関する実験

(1) 最終破壊状況

同一条件の引抜き試験体の最終破壊は、全て同じ状況である。なお、予備実験では、CT 有の非付着区間有無それぞれ鉄筋破断およびモルタル付着割裂(以下、付着割裂), CT 無の鉄筋(以下、通常鉄筋)は鉄筋引抜である。本実験の試験体は、全て付着割裂である。付着割裂破壊した試験体の割裂面を写真-2 に示す。

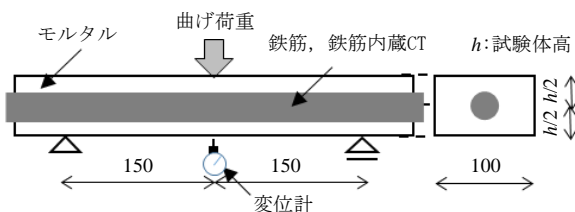


図-3 単純梁曲げ試験の概要

表-3 材料試験結果

(a) セメント硬化体

| 用途 | 実験名称 | 曲げ強度 (N/mm ²) | 折片圧縮強度 (N/mm ²) | 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (kN/mm ²) |
|--------|-----------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| グラウト材 | 引抜き荷重予備実験 | 12.0 (6.98%) | 67.7 (3.58%) | - | - |
| | 引抜き荷重予備実験 | 5.87 (7.76%) | 23.8 (15.9%) | - | - |
| 母材モルタル | 曲げ荷重予備実験 | 5.52 (7.00%) | 29.3 (12.6%) | 22.2 (6.13%) | - |
| | 本実験 | 5.98 (6.31%) | 29.9 (6.94%) | 25.8 (5.51%) | 24.46 (0.33%) |

上段: 標本平均 下段: 標本変動係数

(b) 鉄筋

| 鉄筋呼び名 | 降伏応力度 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | 降伏比 | 破断伸び率 (%) |
|-------|-------------------------------|------------------------------|------|--------------|
| D10 | 361 | 490 | 0.73 | 29.7 |
| D25 | 290 | 428 | 0.68 | 23.7 |

同写真より、モルタルの割裂面に付着していた CT の表面凹凸の痕跡が認められる。グラウト材は、全ての鉄筋内蔵 CT を有する試験体に対し、目視にて荷重端側において損傷していないことを確認している。

以上より、鉄筋内蔵 CT を有する試験体は、CT 外周の付着性能で最大付着応力度が決定するとして、式(1)の付着区間表面積を CT の外周表面積とした。

(2) 予備実験

表-4 に、引抜き荷重に関する予備実験の結果を示す。同表より、鉄筋内蔵 CT は、非付着区間有の最大付着応力度の各標本値が、無のそれと比較して高いことがわかる。これは既往研究⁴⁾の通常鉄筋の引抜き試験で得られている最大付着応力度の標本平均と同一の傾向である。

上述を踏まえ、非付着区間無の試験体において付着割裂破壊が生じたのは、その有より載荷板からの応力が不均一であり、鉄筋破断または引抜、鉄筋内蔵 CT の CT とモルタルまたはグラウト材との付着引抜などが生じる前に、モルタルの引張応力度が局部的に引張強度に到達したためと考えられる。引張応力度が生じたのは、前掲写真-2 に示すモルタル割裂面に痕跡している CT の表面凹凸を踏まえ、通常鉄筋の節と同様に、CT の蛇腹状の凹凸でモルタルが外側に圧されるためと考えられる。

前掲表-4 によると、非付着区間有の鉄筋内蔵 CT を有する試験体の最大引抜き荷重は、通常鉄筋のそれより大きい。これは、付着長が同一であるため、必然的に、鉄筋内蔵 CT は通常鉄筋と比較して、付着区間表面積が大きくなるのが影響していると考えられる。

(3) 本実験

表-5 に、引抜き荷重に関する本実験の結果を示す。かぶり厚補強筋径比は、CT 公称径または通常鉄筋公称

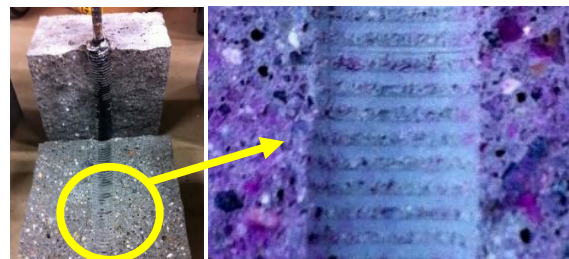


写真-2 付着割裂破壊した引抜き試験体の割裂面

表-4 引抜き荷重に関する予備実験の結果

| 非付着区間 | CT 公称径 (mm) | 最大引抜き荷重 | | 最大付着応力度 | | 最終破壊状況 |
|-------|-------------|----------|-----------|--------------------------|---------------------------|--------|
| | | 標本値 (kN) | 標本平均 (kN) | 標本値 (N/mm ²) | 標本平均 (N/mm ²) | |
| 無 | 23.7 | 33.6 | 32.7 | 5.69 | 5.53 | 付着割裂 |
| | | 31.7 | | 5.37 | | |
| | | 35.7 | 35.1 | 6.04 | 5.96 | 鉄筋破断 |
| | | 34.5 | | 5.83 | | |
| 有 | - | 34.7 | 31.7 | 13.92 | 12.70 | 鉄筋引抜 |
| | | 28.6 | | 11.48 | | |

径に対するかぶり厚である。通常鉄筋 D10 を有する試験体の 1 体は、型枠脱型時にモルタルが欠けたため標本数が 2 である。

同表より、標本数 3 の試験体の標本変動係数は、鉄筋内蔵 CT および通常鉄筋ともに、既往研究^{4,5)}の JSTM に準拠した通常鉄筋の引抜き試験で得られている最大付着応力度の標本変動係数の最大値 7.3% より大きいことがわかる。これはかぶり厚が JSTM の規定値より小さいことが起因していると考えられる。なお、各実験水準の標本値の最大値と最小値の範囲は重複していないため、以下、本実験の最大付着応力度を、標本平均で検討する。

D10 を有する試験体の付着割裂破壊時の付着応力度の標本平均は、前掲表-5 より、鉄筋内蔵 CT は通常鉄筋と比較して、また CT 公称径 23.7mm の鉄筋内蔵 CT はその 17.5mm より低いことがわかる。既往研究³⁾の通常鉄筋の引抜き試験の結果と同様に、これは引張応力が作用するかぶり厚が影響していると考えられる。

CT 公称径 23.7mm の鉄筋内蔵 CT を有する試験体の最大付着応力度は、前掲表-5 より、かぶり厚補強筋径比が比較的近い通常鉄筋 D25 を有するそれより高いことがわかる。これら最大付着応力度の平均値の差は、*t* 検定すると、実質有意水準は 0.036 であり、有意水準 0.05 であるといえる。これは、CT は通常鉄筋と比較して柔軟性かつ付着性に優れることから、CT の蛇腹状の凹凸から生じるリングテンションが、通常鉄筋の節より小さいためと考えられる。以上より、鉄筋内蔵 CT の引抜き試験での付着応力伝達機構は、通常鉄筋のそれと同程度の可能性

表-5 引抜き荷重に関する本実験結果

| CT 公称径 (mm) | 鉄筋 呼び名 | 最大付着応力度 | | | 標本変動係数 (%) | 標本数 | 公称かぶり厚 補強筋径比 |
|-------------|--------|---------|-----------|-----------|------------|-----|--------------|
| | | 標本平均 | x_{max} | x_{min} | | | |
| 17.5 | D10 | 3.81 | 4.04 | 3.36 | 10.05 | 3 | 0.61 |
| 23.7 | | 2.83 | 3.11 | 2.58 | 9.22 | 3 | 0.33 |
| - | | 5.64 | 5.91 | 5.53 | - | 2 | 1.55 |
| - | D25 | 2.12 | 1.78 | 2.32 | 13.92 | 3 | 0.27 |

x_{max} : 標本最大値, x_{min} : 標本最小値

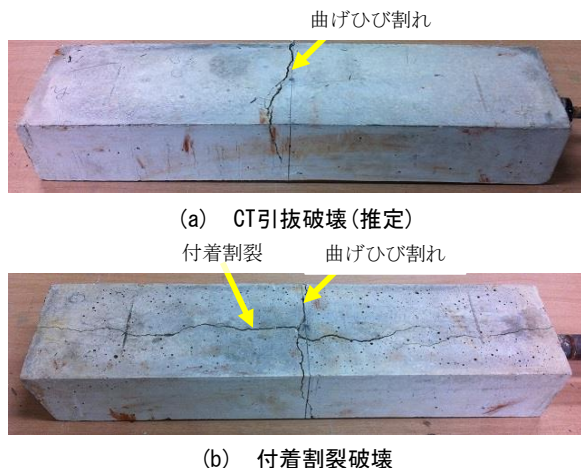


写真-3 曲げ試験体の最終破壊状況の例

があると推測できる。

3.2 曲げ荷重に関する実験

(1) 最終破壊状況

曲げ試験体の最終破壊状況は、予備実験の CT 有のみが推定で CT 引抜であり、他は付着割裂である。また全試験体共通して、荷重載荷点付近で、曲げひび割れが生じている。これらの例を写真-3 に示す。CT 引抜破壊と推定したのは、付着割裂かつ曲げ圧縮破壊を外観にて確認できないため、また最大曲げモーメントがモルタル単体のひび割れモーメントより高いため(後掲表-6 参照)である。なお、試験中、CT 有無ともに、最大曲げ荷重付近で、曲げひび割れを目視で観察することができた。

(2) 曲げモーメントと中央たわみの関係

図-4 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_b)で除してある。

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

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_b : 前掲表-3 (a) 示す母材モルタルの曲げ強度

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

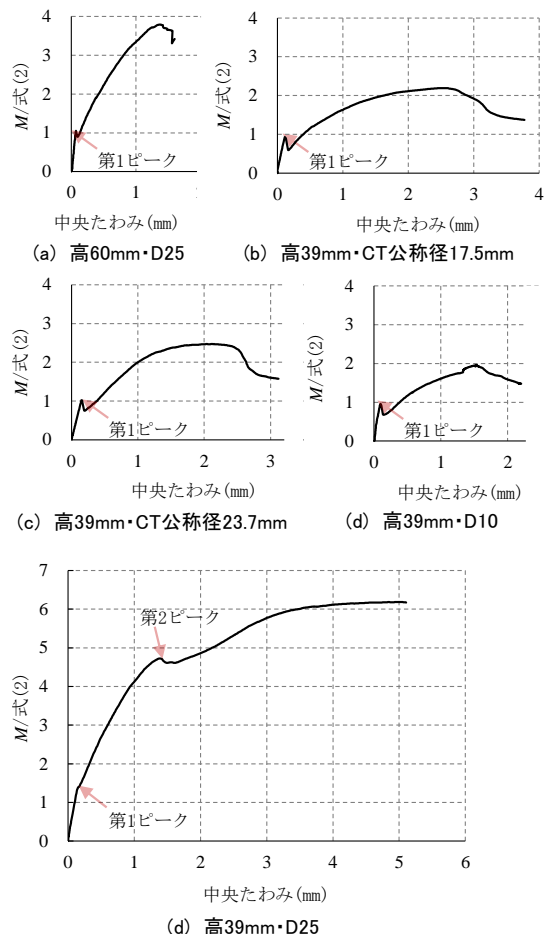


図-4 曲げ荷重と中央たわみの関係の例

上昇する現象が生じている。ここでは、その極大値を発生順に第1, 2... n ピークと呼ぶ。また第 n ピークに対する極小値を第 n ピークの劣化抵抗率とする。発生回数 n は、同一条件下での試験体においても異なり、最大で第3 ピークまで生じた。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) 第1次ピークのモルタルの曲げ応力度

図-5に、第1ピーク時の最外縁曲げ応力度(以下、第1ピーク時の曲げ応力度)と各種要因の関係を示す。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(σ_{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。

$$\sigma_{m1} = \frac{M_{m1}}{Z}, \quad Z = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (3)$$

$$\sigma_{m1} = \frac{M_{m1}}{Z - Z_s \left(1 + \frac{E_s \cdot D}{E_m \cdot h}\right)} \quad (4)$$

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/mm²、 E_m :前掲表-3(a)に示す母材モルタルのヤング係数、 D :鉄筋公称径式(4)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、それぞれ前掲表-3(a)に示す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。予備実験と本実験の母材モルタルの曲げ強度の平均値は差がないとして^{注1)}、予備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(3)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(4)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のが起因していると考えられる。

(4) 第1ピークの劣化抵抗率

図-6に、第1ピークの劣化抵抗率と各種要因の関係を示す。図中の数字は、標本変動係数である。第1ピークが生じていない試験体の劣化抵抗率を1.0としている。

同図に示すように、大きい標本変動係数が存在するため、第1ピークの劣化抵抗率と各種実験因子の関係を明らかにできない。同様に、第 n ピークの発生回数 n と各種実験因子の関係も不明である。これらについては、曲げひび割れのせん断スパン区間での発生位置、付着で発生するテンションスティフネスなどが影響していると考えられるが、現状では言及できないため、今後の検討課題とする。

(5) 最大曲げモーメント

表-6に、曲げ試験体の式(2)によるモルタル単体の曲げひび割れモーメントに対する最大曲げモーメント(以

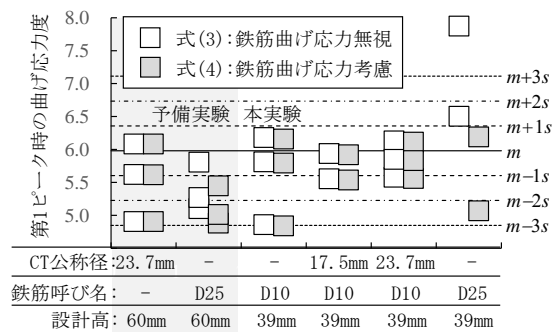


図-5 第1ピーク時の曲げ応力度の標本値

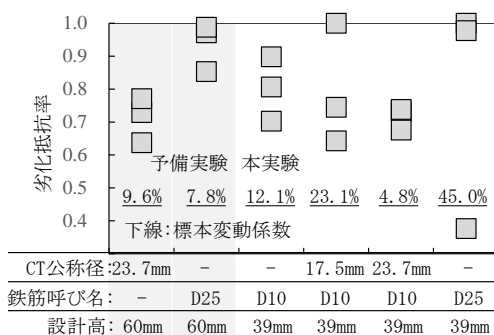


図-6 抵抗劣化率の標本値

表-6 最大曲げモーメント

| 実験名称 | 試験体設計高 (mm) | CT公称径 (mm) | 鉄筋呼び名 | 最大曲げモーメント式(2) | | 最終破壊状況 |
|------|-------------|------------|-------|---------------|--------|--------|
| | | | | 標本平均 | 標本変動係数 | |
| 予備実験 | 60 | 23.7 | D10 | 2.08 | 8.39% | CT引抜 |
| | | - | D25 | 3.76 | 0.97% | 付着割裂 |
| | | 17.5 | - | 2.27 | 7.04% | 付着割裂 |
| 本実験 | 39 | 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 |

下、補強効果比)を示す。同表に示すように、全ての標本変動係数が全て10%以下である。そこで、ここでは、各標本値の変動は小さいと仮定する^{注2)}。

本実験のD10の鉄筋を有する試験体、これら最大付着応力度の平均値の差は、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。前述3.1(3)の引抜き荷重に関する本実験の結果、鉄筋内蔵CTの付着割裂破壊時の付着応力度は、通常鉄筋と同様に、かぶり厚補強筋比が小さいほど低い傾向がある。前述3.1(2)の引抜き荷重に関する予備実験より、同一試験体寸法かつ鉄筋径では、必然的に鉄筋内蔵CTは通常鉄筋と比較して、またCT径が大きいほど、付着区間表面積が大きいと、最大引抜き荷重が高くなることがあると推測した。これらを踏まえると、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径が大きいほど、かぶり厚補強筋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。それゆえ曲げ荷重に関する本実験の鉄筋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-6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。一方、前述3.1(3)の引抜き試験では、CT公称径23.7mmの鉄筋内蔵CTはD25の通常鉄筋より付着割裂破壊時の付着応力度が高い結果を得ている。これら曲げ試験と引抜き試験の結果を単純に照合すると、前記の補強効果比の大小関係と後記の最大付着応力度の高低関係が成立しない。以上については、鉄筋内蔵CTの鉄筋と通常鉄筋の径は異なること、また、前述3.2(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因し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。

予備実験の曲げ試験体の補強効果比は、上述の本実験結果と同一傾向を示すことが表-6より認められる。なお、予備実験と本実験の公称径23.7mmのCTに内蔵された鉄筋を有する試験体の最終破壊状況は、それぞれ異なる。これは、かぶり厚補強筋比の大小関係で、付着割裂破壊時とCT引抜破壊時の付着応力度の高低関係が逆転したためと考えられる。

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の引抜き試験での付着応力伝達機構は、

通常鉄筋のそれと同程度の可能性がある。

- 2) 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。
- 3) 鉄筋呼び名D10が中央に配置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。

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。

注2) 舗装コンクリートの実態調査の結果、約80%の工事が曲げ強度の変動係数が10%以下であると推定されている⁶⁾。

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、愛知工業大学本科生の古橋健汰君、吉田教浩君、豊田高専専攻科生の熊谷菜祐さん、波多野結依さんのご助力を得た。

参考文献

- 1) 村田二郎：引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法(案)，コンクリート工学，Vol.23, No.3, pp.8-11, 1985.3
- 2) 藤巻敏之：建材試験センター規格(JSTM)紹介 コンクリート関係 その1 -JSTM C 2101-，建材試験情報，Vol.41, pp.47-48, 2005.2
- 3) 神野晴夫，藤井栄，森田司郎：割裂を伴う付着特性の寸法効果に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集，構造II, pp.747-748, 1986.8
- 4) 若林和義，鈴木敏夫，志村明春，鈴木澄江：引抜きによる鉄筋とコンクリートとの付着強度試験の供試体小形化に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.38, No.1, pp.387-392, 2016
- 5) 若林和義，中村則清，志村明春，牛田真一郎：引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法における供試体小形化に関する検討，コンクリート工学年次論文集，vol.39, No.1, pp.301-306, 2017
- 6) 柳田力：舗装用コンクリート，コンクリート工学，Vol.14, No.6, pp.31-34, 1976.6