

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 Fundamental Study on Bond Properties of Steel Bar Coated with Corrugated Tube and Mortar

単純梁 付着応力度 最大荷重
曲げ引張ひび割れ かぶり厚さ

正会員 ○山本 貴正* Takamasa YAMAMOTO
準会員 熊谷 茉祐** Mayu KUMAGAI
同 波多野 結依** Yui HATANO
正会員 今岡 克也*** Katuya IMAOKA
同 山田 和夫**** Kazuo YAMADA

1. はじめに

コンクリートの弱点である脆性を補う鉄筋は、中性化および塩害で腐食すると、赤錆が発生してコンクリートのひび割れを引き起こす。これは、鉄筋コンクリート系構造物の耐力、耐久性などを低下させる要因のひとつである。

以上を背景に、著者らは、鉄筋を幅広い分野で使用されている安価なコルゲートチューブ(以下、CT)で鉄筋を覆い、その隙間にグラウト材を充填(以下、鉄筋被覆CT)することで、低コストでコンクリート系構造物の中性化・塩害を抑制できると考えた。

本報は、既報に引き続き、鉄筋被覆CTの付着性能の基礎的資料を得ることを目的として、モルタルの中央に配置された鉄筋(鉄筋補強モルタル)の曲げせん断性能に及ぼすCT被覆有無の影響について、実験的に検討している。

2. 関連する既往研究

2.1 非付着区間有無

既報1)では、鉄筋被覆CTとモルタルの付着応力度に及ぼす非付着区間有無の影響について実験的に検討している。非付着区間有無は、図-1に示すように片側引抜き試験の荷重端側である。なお、荷重端側の非付着区間は、一般に、載荷板からの応力を均等化し試験誤差を少なくするために設ける。

非付着区間ありの0.2%時付着応力度および最大付着応力度は、非付着区間なしと比較して、それぞれ高くなる結果を得た。これは、既往研究の無被覆鉄筋の引抜き試験で得られている知見(例えば、2)と同様に、非付着区間ありは、載荷板からの応力の均一性が、非付着区間なしと比較して高いことが影響していると考えられる。

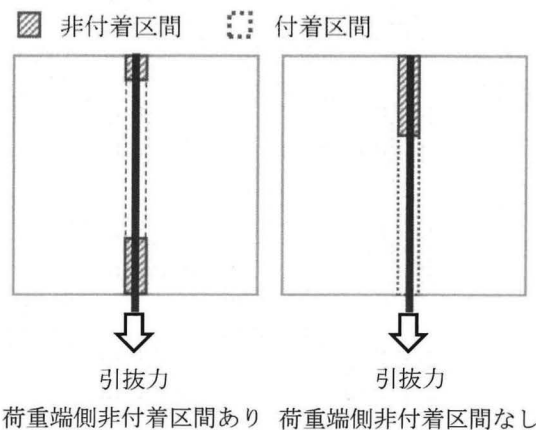


図-1 片側引抜き試験の概要(既報1))

最終破壊状況は、非付着区間有無それぞれ鉄筋引張および母材割裂である。後者については、載荷板からの応力の均一性が、非付着区間ありと比較して低いことから、CT引抜破壊または鉄筋引張破断が生じる前に、母材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であると考えられる。この引張応力度は、異形鉄筋の節と同様に、CTの蛇腹状の凹凸により、コンクリートが外側に圧され、これにより生じたと考えられる。なお、目視によるとグラウト材の破壊は観察されず、鉄筋被覆CTの鉄筋部は引抜かれていない。

以上より、鉄筋被覆CTとモルタルの付着応力伝達機構は、応力度を除き、無被覆鉄筋のそれと同様であると推察される。

2.2 CT被覆有無

既報3)では、鉄筋とモルタルの付着引抜強度に及ぼすCT被覆有無の影響について実験的に検討している。なお、非付着区間ありの片側引抜き試験を実施している。ここでは、付着引抜強度について述べるため、最終破壊状況

* 愛知工業大学工学部建築学科 准教授 博士(工学)
** 豊田工業高等専門学校建設工学専攻 専攻科生
*** 豊田工業高等専門学校建築学科 教授 工博
**** 愛知工業大学工学部建築学科 教授 工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.
Student, Advanced Course of Arch., National Institute of Technology, Toyota College.
Prof., Department of Architecture, National Institute of Technology, Toyota College, Dr. Eng.
Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.

が無被覆鉄筋またはCT引抜の試験体を対象とする。

CT被覆ありの付着引抜強度は、CT被覆なしと比較して低くなる結果を得た。これは、CTの材質であるポリプロピレンおよび蛇腹形状の付着が、鉄筋の節形状と比較して低いことが起因していると考えられる。なお、無被覆鉄筋の付着引抜強度に対するその鉄筋被覆CTは、既往研究の無被覆鉄筋の付着引抜強度に対するそのエポキシ樹脂塗装鉄筋⁴⁾と比較して低い。

3. 実験概要

3.1 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せん断性能に及ぼすCT被覆有無の影響である。曲げせん断性能は、単純梁の一点集中荷重による曲げせん断試験で測定する荷重-変形関係を指標とした。

3.2 使用材料

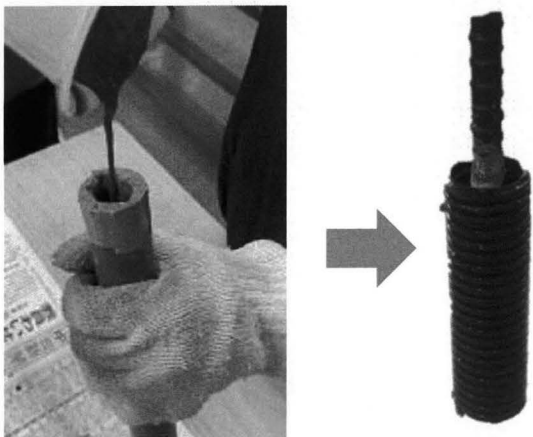
グラウト材および母材モルタルに使用した水は水道水、セメントは普通ポルトランド（密度：3.15g/cm³、比表面積：3250cm²/g）、細骨材は多治見市大畑町産の山砂（表乾密度：2.55g/cm³、吸水率：1.78%、実積率：65.3%）、混和剤は高性能減水剤（主成分：ポリカルボン酸系コポリマー）である。

鉄筋は異形鉄筋のD10およびD25、CTはポリプロピレン製（蛇腹形状、スリット無）の公称径23.7mm（公称内径：19.5mm、公称波長：3.6mm）である。

3.3 試験体作製

(1) 鉄筋被覆CT

鉄筋被覆CTは、写真-1に示すように、あらかじめ硬質ポリ塩化ビニル管（以下、塩ビ管）に挿入されているCT



鉄筋挿入かつグラウト材硬化後、
塩ビ管から鉄筋被覆CTを抜去

写真-1 鉄筋被覆CTの作製

へグラウト材を注入した後、芯にD10の鉄筋を挿入して作製した。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。またグラウト材が漏れないように、底を布テープで封をした。使用した塩ビ管は、外径32mmの呼び径25である。

(2) セメント硬化体

グラウト材は容量5.0リットルのセメントペーストミキサー、母材モルタルは容量2.0切のモルタルミキサーを使用して混練りしている。母材モルタルの管理用試験体は、鋼製の三連型枠（JIS_R_5201:1997）で成形し、養生は、鉄筋補強モルタルと同一である（次節参照）。表-1にこれらの調合が示してある。

(3) 鉄筋補強モルタル

寸内100x100x400mmの鋼製型枠を使用して、鉄筋補強モルタルを作製した。なお、短手側の型枠に、CTおよび鉄筋の公称径に併せて中央を削孔した高さ60mmのスギ板を配置し、そこに鉄筋被覆CTおよび無被覆鉄筋を挿入した後、母材となるモルタルを型枠内に打設している。同一条件試験体の標本数は3であり、モルタル打設の翌日から、強度試験実施まで水中養生している。

3.4 実験方法

材料試験として、母材モルタルの管理用試験体の強さ試験を、JIS R 5201:2015のセメントの強さ試験に準拠して実施した。また、鉄筋の引張試験を、JIS Z 2241:2011の金属材料引張試験方法に準拠して測定した。

長方形モルタルの曲げせん断試験を、図-2に示すような単純梁モデルのスパン150mmかつ一点集中荷重で実施した。なお、荷重面をモルタル打設方向としている。試験体中央に変位計を設置し、たわみの測定を試みている。また、試験機のラムストロークを測定しおり、変位制御で試験を実施している。

表-1 セメント硬化体の調合表

用途	質量比			混和剤 (セメント質量x%)
	水	セメント	砂	
グラウト材	0.25	1.00	0.00	6.00
母材モルタル	0.60	1.00	3.50	-

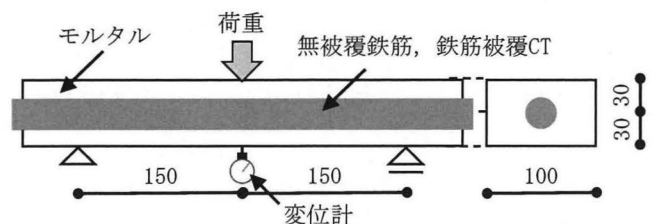


図-2 鉄筋補強モルタルの曲げせん断試験の概要

4. 実験結果・考察

4.1 材料試験結果

母材モルタルの強さ試験および鉄筋の引張試験の結果をそれぞれ表-1(a)(b)に示す。なお、グラウト材は、強さ試験を実施していないため、参考に同一調合かつ試験方法で得られている既報¹⁾のグラウト材の強さ試験結果が示してある。

同表(a)より、母材モルタルの折片圧縮強度の標本変動係数は、良好な管理がなされているかの目安となる上限値10%を超えていることがわかる^{注2)}。

3.2 曲げせん断試験結果

(a) 最終破壊状況

写真-2(a)(b)に、鉄筋補強モルタルのCT被覆有無それぞれの最終破壊状況の例を示す。同一条件試験体は全て最終破壊状況が類似している。写真に示す試験体の上面は、支点側、換言すると曲げ引張側である。

同写真(a)(b)に示すように、CT被覆有無それぞれの最終破壊状況は、CT引抜および母材割裂である。CT引抜破

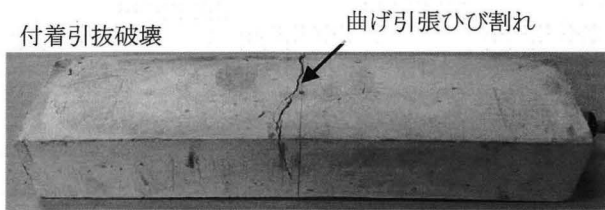
表-2 材料試験結果

(a) セメント硬化体の強さ試験結果

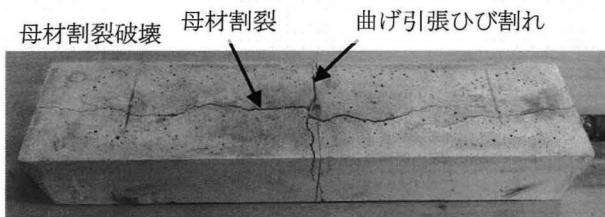
用途	曲げ強度		折片圧縮強度	
	平均値 (N/mm ²)	標本変動係数 (%)	平均値 (N/mm ²)	標本変動係数 (%)
母材モルタル	5.52	7.00	29.3	12.8
グラウト材 ¹⁾	12.0	7.00	67.7	3.50

(b) 鉄筋の引張試験結果

	降伏応力度		引張強度	
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
D10	341	471	428	
D25	290	428		



(a) CT被覆あり(主筋：鉄筋被覆CT)



(b) CT被覆なし(主筋：無被覆鉄筋)

写真-2 最終破壊状況の例(支点側)

壊と判断した理由は、付着割裂ひび割れかつ曲げ圧縮を、目視により確認できないためである。なお、CT被覆有無ともに一点集中荷重荷点付近において曲げ引張ひび割れが発生している。

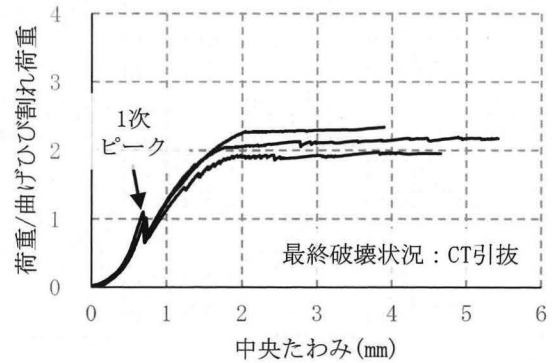
鉄筋被覆CTのCT引抜破壊は、既報の片側引抜き試験(前述2.2参照)より、無被覆鉄筋と比較して、付着引抜強度が低く、付着応力度が付着割裂強度に到達する前に、付着引抜強度に到達したため生じたと考えられる。無被覆鉄筋の母材割裂破壊は、かぶり厚さが比較的小さいことから、付着応力度が付着引抜強度に到達する前に、付着割裂強度に到達したため生じたと考えられる。

(b) 荷重-変形関係

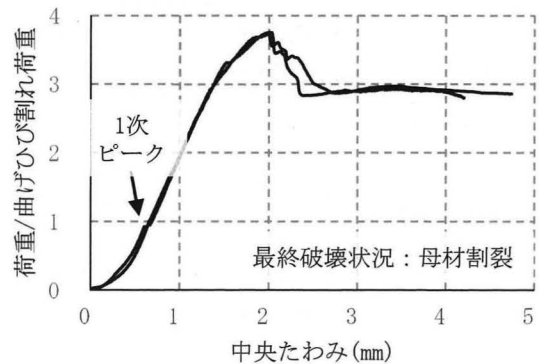
図-3(a)(b)に、CT被覆有無それぞれの荷重-変形関係を示す。縦軸は、曲げひび割れモーメント到達時の荷重(以下、曲げひび割れ荷重)で除してあり、曲げひび割れモーメント(M_{cr})は、次式で算出している。

$$M_{cr} = Z \cdot f_b \quad (1)$$

ここに、 Z :試験体の主筋部を無視して求めた断面係数、 f_b :モルタルの管理用試験体の曲げ強度
横軸は、試験機のラムストロークである。なお、変位計



(a) CT被覆あり



(b) CT被覆なし

図-3 曲げせん断試験の荷重-変形関係

表-3 曲げせん断試験の1次ピーク

CT 被覆	1次ピーク荷重 曲げひび割れ荷重			1次ピーク後の荷重最小値 曲げひび割れ荷重		
	daute	m	s	daute	m	s
あり	0.89			0.65		
	1.02	1.00	0.088	0.79	0.77	0.096
	1.10			0.88		
なし	0.93			0.90		
	1.05	0.98	0.055	0.90	0.91	0.021
	0.96			0.94		

m: 平均値, s: 標本標準偏差

で測定した変位は、CT被覆なしの1次ピークまでを除き、乱れが生じたため、ここでは変形に使用していない。

同図(a)(b)より、次のことが認められる。i)CT被覆ありは、CT被覆なしと比較して、最大荷重が低い。ii)CT被覆ありは、CT被覆なしと比較して、最大荷重到達後の靱性は高いが、最大荷重到達後に収束している荷重(以下、収束荷重)は低い。iii)CT被覆有無ともに、1次ピークが発生しており、1次ピーク荷重は縦軸が1.0付近、換言すると、曲げひび割れモーメント到達時付近である。iv)CT被覆ありの1次ピークの荷重低下は、CT被覆なしと比較して高い。なお、表-3に、1次ピークの荷重が示してある。

上記i)は、CT被覆有無による付着引抜強度の差異(前述3.2(a)参照)が起因していると考えられる。ii)より、収束荷重時に平面保持が成立しており、モルタルの曲げ圧縮力と主筋の引抜力が一定であると仮定すると、鉄筋被覆CTの付着引抜破壊後に収束する付着引抜力は、無被覆鉄筋の母材割裂破壊後のそれと比較して低いと言える。iii)より、1次ピーク荷重到達までは、鉄筋が中立軸に存在していると推察される。なお、破壊状況より、1次ピークは、曲げひび割れの発生が影響していると考えられる(前掲表-2(a)(b)参照)。これらを踏まえ、1次ピーク荷重後に、曲げ引張の負担が、モルタルから主筋へ移るため、荷重が低下すると推測される。iv)については、鉄筋被覆CTは、無被覆鉄筋と比較して、鉄筋の断面積が小さいため、1次ピーク後に再び荷重が上昇するまで中立軸の圧縮側への移動量が多いことが起因していると考えられる。

4. おわりに

本報で得られた知見を、次のように整理する。

- 1) CT被覆ありは、CT被覆なしと比較して、最大荷重が低い。
- 2) CT被覆ありは、CT被覆なしと比較して、最大荷重到達後の靱性は高いが、収束荷重は低い。これは最終破壊状況が影響していると考えられる。

- 3) CT被覆有無ともに、荷重-変形関係において、1次ピークが発生しており、1次ピーク荷重は曲げひび割れモーメント到達時付近に存在する。これにより、1次ピーク荷重到達までは、鉄筋が中立軸に存在していると推察される。
- 4) CT被覆ありは、CT被覆なしと比較して、1次ピークの荷重低下が大きい。これは、鉄筋の断面積が影響していると考えられる。

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、愛知工業大学工学部建築学科本科生の古橋健汰君、吉田教浩君のご助力を得た。

注

- 注1) 鉄筋被覆CTと無被覆鉄筋ともにD10の異形鉄筋を使用しており、かつ付着長さも同一である。
- 注2) レディミクストコンクリートにおいて良好な管理がなされている目安は、圧縮強度の変動係数が10%以下であるとされている。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³⁾。

参考文献

- 1) 熊谷茉祐, 長谷川京奈, 波多野結依, 河野伊知郎, 山本貴正: 鉄筋の付着応力度に及ぼすコルゲートチューブの被覆の影響に関する基礎研究, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第56巻, pp.37-40, 2018.2
- 2) 村田二郎, 河合紘菰: 引抜き試験による異形鉄筋の付着強度に関する研究, 土木学会論文集, 第348号, V-1, pp.113-122, 1984.8
- 3) 熊谷茉祐, 山本貴正, 今岡克也: 鉄筋を被覆したコルゲートチューブとモルタルの最大付着応力度に関する基礎研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(材料施工), pp.553-554, 2018.9
- 4) 津村壽樹, 上田隆雄, 新井康裕, 宮川豊章: エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着改善に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.777-782, 2009
- 5) 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