

材料表面の粗度と骨材寸法が鋼コンクリート境界面接着性状に及ぼす影響

Bond effect between steel and concrete associated with controlled interface roughness and size of fine aggregate

法政大学デザイン工学部 准教授 藤山 知加子

1. 研究手法の概略

1-1 研究の概要

鋼コンクリート境界面特性はこれまで、鋼材表面の付着効果と、鋼材の突起とコンクリートとの噛み合わせ効果というふたつのメカニズムに立脚して議論が行われてきた。本研究では、スケールをかえてみれば前者（鋼材表面の付着効果）も鋼材表面の微小な凹凸と骨材の噛み合わせに依存すると仮定し、微小な凹凸を計測した鋼材と骨材の寸法・充填率をパラメータとした引抜試験を実施し、鋼コンクリート境界面特性を実験的に検討した。

1-2 実験概要

実験パラメータを表-1に示す。引抜試験に用いる丸鋼のうち6本について、それぞれ長手方向200mmの区間を12か所、レーザー変位計を用いて表面粗度を計測したところ、いずれも平均粗度は0.01mm程度であった。次に、超硬ポンチを用いて、丸鋼の長手方向に4か所10mm間隔で25点の凹部を設けた。レーザー変位計で計測したところ、凹部の深さは0.1mm～0.3mmであり、平均すると0.2mm程度であった。これらを、直径150mm、高さ300mmの円筒型枠の中心にφ13の丸鋼を配置し、セメントペーストを打設した。試験体内の丸鋼の上端から1.0cmと下端から4.0cmは、固定具設置のため付着無し区間となっている。

セメントペーストには骨材として形状寸法が規格化されたガラスビーズを用いた。鋼材の粗度とガラスビーズの噛み合わせ効果を考慮して、ガラスビーズは直径0.05mm、0.5mm、5mmとし、混入率も変化させた。ペーストの水セメント比は、事前検討によりガラスビーズが均等に分散することを目視で確認できた35%を採用した。ガラスビーズの充填率は85%が最密で、0%は何も混入しないセメントペーストである。打設後は1日で脱型し、28日以上の中水養生を

表-1 試験パラメータ

ケース名	ガラスビーズ		鋼材
	径	混入率	
a	5-45-1	5 45%	丸鋼φ13
b	5-85-1	5 85% (最密)	丸鋼φ13
c	5-85-2	5 85% (最密)	丸鋼φ13
d	0.5-85-1	0.5 85% (最密)	丸鋼φ13
e	0.5-85-2	0.5 85% (最密)	丸鋼φ13
f	0.05-45-1	0.05 45%	丸鋼φ13
g	0.05-45-2	0.05 45%	丸鋼φ13
h	0.05-45-3	0.05 45%	丸鋼φ13
i	0.05-85-1	0.05 85% (最密)	丸鋼φ13
j	0.05-85-2	0.05 85% (最密)	丸鋼φ13
k	0.05-85-3	0.05 85% (最密)	丸鋼φ13
l	P-rb	---	丸鋼φ13
m	P-DB	---	凹凸丸鋼

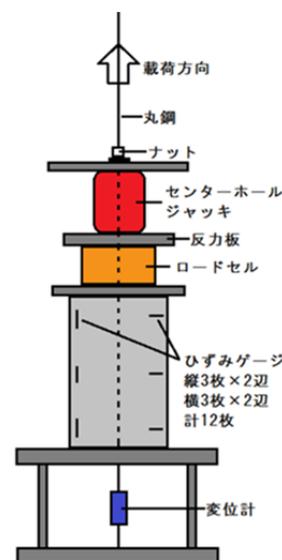
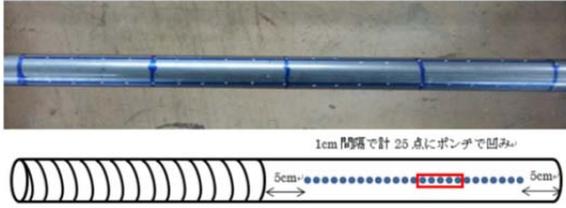


図-1 試験装置概要



(c) 凹凸を設けた丸鋼



(b) 練混ぜ (0.05mm-85%混入時)

写真-1 実験概要

行った。各配合につき圧縮強度確認用に3体の円柱供試も同時に作成した。材料の写真を写真-1に示す。

引抜試験の概要を図-1に示す。試験体を縦に設置した鉛直方向片引き試験である。荷重はセンターホールジャッキで、丸鋼の引抜量は試験体底から接触式の変位計で直接計測した。また、試験体表面ひずみゲージを12枚添付して試験体の変形を測定した。载荷は手動の油圧ポンプにより行った。

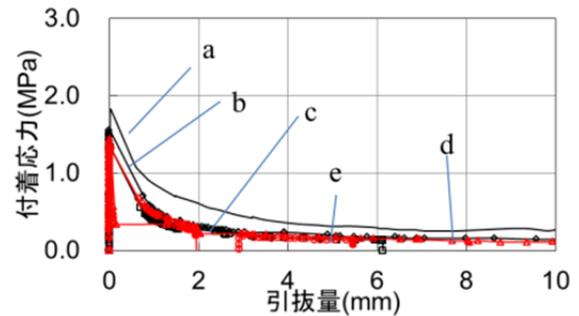
2. 研究成果

2-1 実験結果

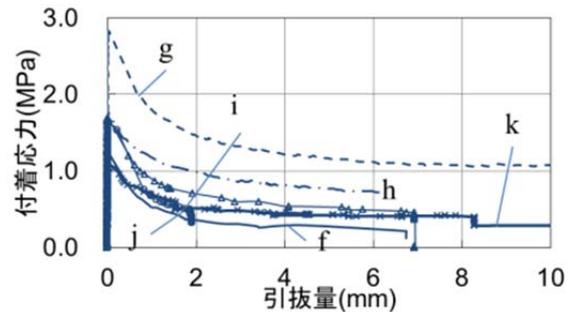
(1) 付着応力—引抜量関係

ロードセルで得られた引抜荷重を丸鋼の付着区間で除した付着強度と丸鋼引抜量の関係を図-2示す。本研究では、引抜量がほぼゼロで達する最大付着応力を「初期付着応力」、最大付着応力に達した後の引抜抵抗を「摩擦」と定義する。ケースm (P-DB) 以外は、いずれも初期付着応力のピークと、ピーク後引抜量の増加に伴って摩擦が低下し一定値に収束する傾向が見られた。

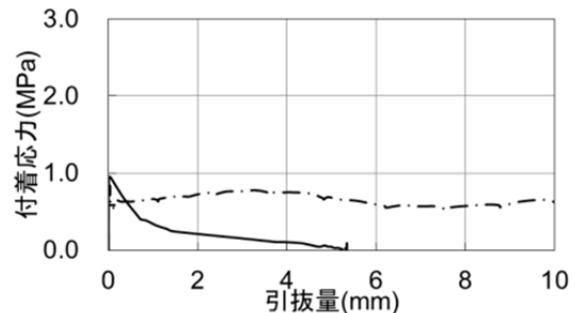
丸鋼表面の粗度よりガラスビーズ径が明らかに大きい5mm, 0.5mmの実験結果が(a)である。径や充填率に応じた定量的な傾向はみら



(a) 比較的径が大きいケース

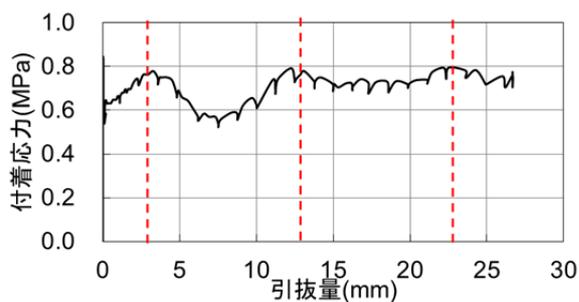


(b) ガラスビーズ径0.05mm

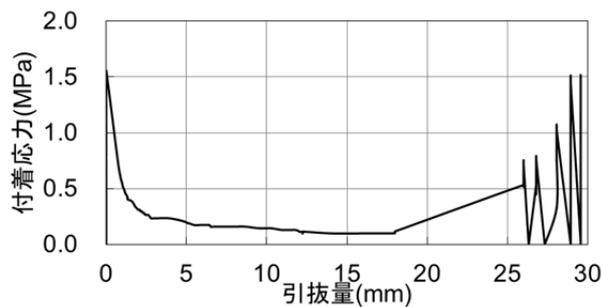


(c) セメントペースト (骨材なし)

図-2 付着強度—引抜量関係

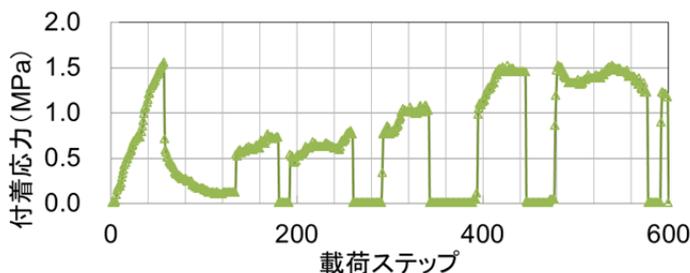


(a) ケース m (P-DB)

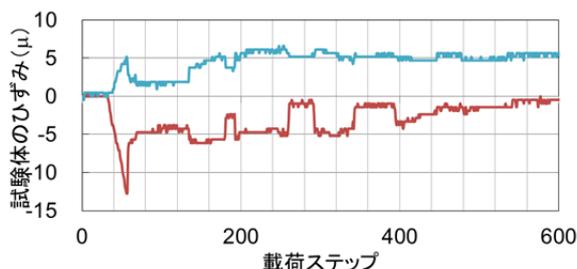


(b) ケース c (5-85-2)

図-3 摩擦が変動するケース



(a) 付着応力—载荷ステップ関係



(b) 試験体ひずみ—载荷ステップ関係

図-4 载荷ステップによる比較c (5-85-2)

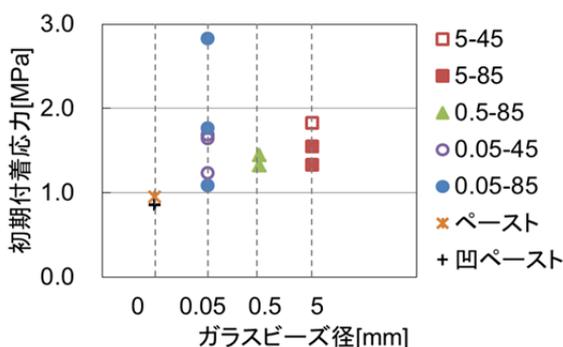


図-5 初期付着応力—ガラスビーズ径関係

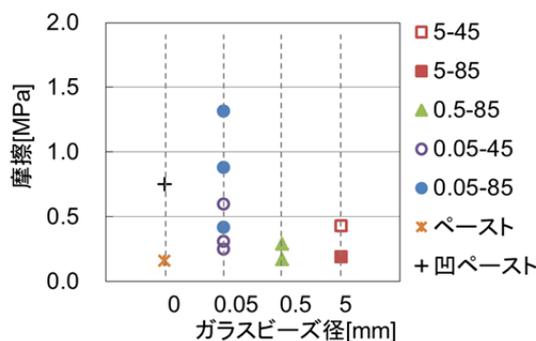


図-6 摩擦—ガラスビーズ径関係

れず、いずれもほぼ同等の付着応力と摩擦抵抗を示す結果となった。

図-2(b)は、丸鋼表面の粗度に比較的近い径0.05mmのガラスビーズを用いたものである。ケースgで最も大きい初期付着応力が得られたが、同条件のfやhでは他のケースと同等の初期付着応力を得た。

セメントペーストのケースをまとめたものが図-2(c)である。この二つのケースはガラスビーズを混入した他のケースとは異なり、初期付着応力がいずれも $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以下と小さかった。また、付着切れ後は、丸鋼と噛み合わせが生じないと考えられるケースlでは急激に摩擦抵抗が低下しているのに対し、意図的に凹凸を設けた丸鋼を用いたケースmでは、引抜き量が増加しても摩擦抵抗の明らかな低下は見られなかった。

(2) 摩擦が変動するケース

他と傾向の異なったm (P-DB) を取り出したものが図-3(a)である。鋼材に凹部を10mm間隔設けることで、摩擦が引抜き量10mm程度ごとに増減する傾向が確認できた。また、ケースc (5-85-2) を引抜き量30mm近くで、一旦減少した摩擦が引抜き量の増大に伴い再び上昇する現象が見られた (図-3(b))。ケース c (5-85-2) に関して、载荷ステップと付着応力および試験体表面

ひずみの推移を図-4に示す。いずれも摩擦が増加するときに、試験体上部の縦ひずみ、横ひずみが増加していた。微小粗面と骨材の噛み合わせにより試験体に体積変化が生じたものと推察される。試験体を外部から拘束した場合膨張圧力が鋼棒への支圧力となることを考えると、鋼材とコンクリートとの摩擦は支圧（拘束）の影響が大きいと言える。

2-2 考察

(1) 初期付着応力と骨材径・充填率

図-5に、初期付着応力とガラスビーズ径と充填率の関係を示す。ばらつきは大きいものの、いずれもセメントペーストのみの場合よりは大きいため、ガラスビーズの混入は初期付着応力の増加に一定の効果があると言える。

(2) 摩擦と表面粗度

丸鋼の引抜量が3.0mmに達した時の摩擦とガラスビーズ径および充填率の関係を図-6に示す。摩擦もばらつきは大きいものの、0.05mm径ガラスビーズのケースは他のケースよりも概ね大きかった、また、充填率が高いほうが大きかった。これは、ガラスビーズの径が鋼材の粗度に近いため、鋼材引抜時に連続的に粗面での噛み合わせが発生したためと考えられる。以上と、図-3より、微小な粗面が摩擦に影響を及ぼすと考えられる。

(3) ガラスビーズ混入セメント硬化体の強度との関係

ガラスビーズ混入試験体の基本的破壊形態を確認するため、1軸圧縮試験を行い、縦ひずみと横ひずみを計測した。ガラスビーズ混入試験体においては、縦ひずみよりも横ひずみの値が大きく供試体が膨らむようにして破壊していると考えられるものがあったが、その傾向が得られたケースとガラスビーズ径や混入率との間に関係性は見られなかった。試験体練り混ぜ時にガラスビーズの分散性にばらつきがあったためと考えられる。

2-3 本研究のまとめ

鋼材粗度と骨材寸法・充填率をパラメータとした引抜試験を実施し、初期付着応力が骨材の混入によって上昇すること、摩擦は粗面と骨材の連続的な噛み合わせで生じることを示した。しかしながら、本研究の期間内で行った実験にはデータのばらつきが大きく、定量的な知見を得るには至らなかった。引き続き、実験手法の改良に取り組むとともに、今後は数値解析による分析も進めて行く所存である。

3. 発表論文

藤山知加子：材料表面の粗度と骨材寸法が鋼コンクリート境界面接着性状に及ぼす影響、2014年度日本建築学会大会学術講演会研究発表梗概（掲載予定）

以上