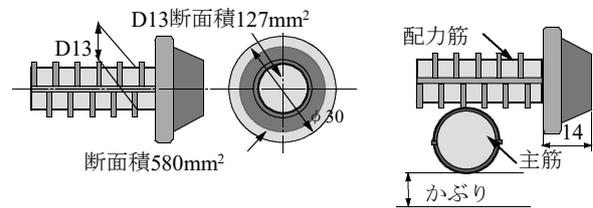


偏心荷重が作用する円形突起付き鉄筋の引抜き試験による 耐荷力および構造特性

(株)小野工業所 ○鈴木健 日大・名誉教授 阿部忠
日大生産工 師橋憲貴 野口博之 日大生産工(院) 重松伸也

1. はじめに

橋台間を支間とする取替用プレキャスト RC 床版には、円形突起付き鉄筋¹⁾が用いられている。そこで、本研究では円形突起付き鉄筋を用いて引き抜き試験を行い、耐荷力性能および付着・支圧応力度を評価する。引抜き試験には道路橋示方書・同解説²⁾(以下、道示とする)に基づいた機械式継手長 217mm を基本とし、その 75%の 163mm, 50%の 108mm の 3 タイプとする。引抜き試験においては構造特性として変位、鉄筋ひずみおよび破壊状況を検証する。また、実験耐荷力を基にコーン破影面積と床版厚が突起の影響を受ける有効水平投影面積の関係から破壊メカニズムの検証を行い、幅員方向の継手構造の有用性を検証する。



(1) 突起部 (2) 主筋・配力筋の配置
図-1 円形突起の寸法および配置状況

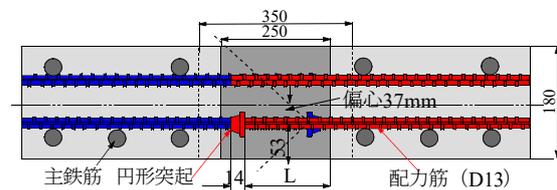


図-2 円形突起および配置状況

2. 円形突起を用いた継手構造

(1) 円形突起付き鉄筋の継手構造¹⁾

幅員方向に並列するプレキャスト取替 RC 床版に採用する継手構造を図-1に示す。幅員方向に並列する場合の継手構造は一般的に配力筋が継手となることから円形突起付き鉄筋を採用する。鉄筋には継手長をできるだけ短くするために D13 の鉄筋を用いる。突起部は図-1に示すようにφ 30mm の円形、側面を台形とした突起形状であり、支圧面積は 580mm²である。次に、配置状況とかぶりの関係は、支間方向の主筋の内側に円形突起付きの配力筋を配置することから道路橋示方書・同解説(以下、道示とする)²⁾に規定されるかぶりが十分満足できる配置となる。プレキャスト取替 RC 床版の継手部の寸法を図-2に示す。

本研究では、主筋に D16 を用い、配力筋に D13 を用いた場合の配力筋の鉄筋位置は、かぶり 30mm に主筋 D16(公称直径 15.9mm)と D13 の 1/2 をかぶりとする。よって、配力筋のかぶりは 53mm である。

引抜き試験の供試体は図-3に示すように間詰部 250mm, 床版厚 180mm に継手構造を設けた場合を考慮し、引抜き試験の供試体を厚さ 180mm, 高さ 350mm のコンクリート矩形断面に突起付き鉄筋を埋め込みし、引抜き試験用の供試体を製作する。

(2) 引抜き試験用の埋め込み長

鉄筋を用いた重ね継手長の算定は道示²⁾に基づいて式(1)より算定する。なお、間詰部に用いるコンクリートを想定して、圧縮強度を 40N/mm² とする。また、フック付き鉄筋および機械式継手の継手長 L_l は道示より式(2)として与えられている。

$$L_a = (\sigma_{sa} 4\pi\alpha) \times \varphi \quad (1)$$

$$L_l = L_a \times 2/3 \quad (2)$$

ただし、 L_a : 付着応力度より算出する重ね継手長 (mm), σ_{sa} : 鉄筋の引張応力度, $\pi\alpha$: コンクリートの付着応力度, φ : 鉄筋径

異形鉄筋 SD345 D13 の継手長を式(1), (2)より算出と継手長は 217mm となる。また、継手長 75%, 50%,

Load Carrying Capacity and Structural Properties of Circular Projecting Bars Subjected to Eccentric Loads by Pull-Out Tests

by

Ken SUZUKI, Tadashi ABE, Noritaka MOROHASHI, Hiroyuki NOGUCHI and Shinya SHIGEMATSU

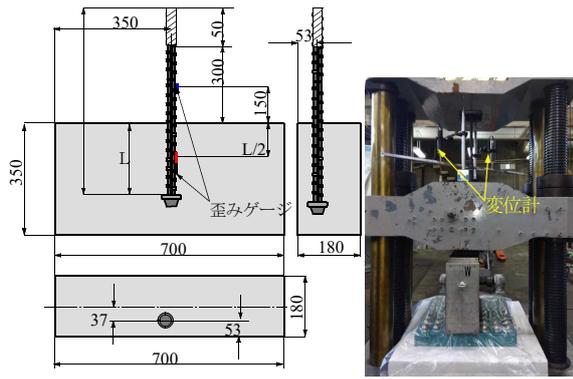


図-3 引抜き試験用供試体寸法および実験状況

表-3 付着用接着剤

項目		接着剤	備考
外観	主剤	白色ペースト状	異物混入なし
	硬化剤	青色液状	
混合比(主剤：硬化剤)		5：1	重量比
硬化物比重		1.42±0.2	JIS K 7112
圧縮強さ		102N/mm ²	JIS K 7181
圧縮弾性係数		3976N/mm ²	JIS K 7181
曲げ強さ		41N/mm ²	JIS K 7171
引張せん断強さ		15N/mm ² 以上	JIS K 6850
コンクリート付着強さ		3.7N/mm ² 以上※	JIS A 6909

すなわち継手長 163mm, 108mm の併せて 3 タイプを用いる。供試体名称をそれぞれ L217, L163, L108 とする。

(3) 引抜き試験用供試体寸法

コンクリート供試体寸法は図-3に示すように幅は引抜き試験の埋め込み長 217mm が 45 度で引き抜かれる場合を想定して 700mm とする。高さ 350mm とする。厚さは RC 床版厚を考慮して 180mm とする。

(4) 使用材料

一般的に、取替 RC 床版供試体の間詰部コンクリートは施工の省力化を図るために超速硬コンクリートが用いられている。このコンクリートの要求性能は材齢 3 時間で道示²⁾に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm² 以上、材齢 14 日で 40N/mm² 以上確保できる配合である。そこで、引抜き試験に用いるコンクリートの強度は材齢 14 日で 40N/mm² を目標とした。よって、本供試体のセメントには普通ポルトランドセメントに最大粗骨材寸法 20mm の砕石、最大細骨材寸法 5mm の砕砂を用い、材齢 14 日で 40N/mm² 以上を目標とした配合条件を表-1に示す。実験時の圧縮強度は 55.8N/mm² ある。

次に、引抜き試験に用いる鉄筋は図-1に示すように SD345, D13 の円形突起鉄筋を用いる。鉄筋の材

表-1 引抜き試験用コンクリートの配合条件

スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤
			セメント	水	細骨材	粗骨材	
21±2.5	35.0	45	500	175	763	923	5.25

表-2 引抜き試験用鉄筋の材料特性値

供試体	コンクリートの圧縮強度(N/mm ²)	鉄筋(SD345 D13)				
		突起形状	公称断面 (mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
L-217 L-163 L-108	55.8	円形突起	126.7	389	576	200

料特性値を表-2に併記する。円形突起付き鉄筋の降伏強度は 389N/mm² である。

本供試体には鉄筋とコンクリートとの付着力を図るために高耐久型エポキシ系接着剤（以下、付着用接着剤とする）を用いる。付着用接着剤の性能を表-3に示す。鋼とコンクリートとの付着強度について既に検証され、引張試験においてはコンクリート層で破壊している。各供試体の埋め込み長全面に付着用接着剤を塗布し、この供試体については付着用接着剤の効果についても検証する。

3. 実験方法³⁾

継手鉄筋の付着破壊は、一般にかぶりコンクリートの割裂に起因するが、継手の外側には軸方向の主鉄筋が配置され、この鉄筋の引張応力により、突起付き鉄筋に沿うひび割れおよび割裂破壊は生じない可能性がある。本来、異形鉄筋の引抜き試験ではふし間コンクリートのせん断破壊によって引き抜かれるが本供試体にはφ 30mm 円形突起の支圧効果により、引抜きは生じにくく、鉄筋に沿った縦ひび割れの発生が発生し、割裂破壊が予測される。引抜き試験における偏心量は 37mm であることから、実験では偏心荷重による引抜き試験を実施する。

次に、引抜き試験の状況を図-4に示す。試験機は万能試験機 (JIS B 7721) を用いる。試験体である円形突起付き鉄筋を埋め込みしたそれぞれの L217, L163, L108 の試験体を試験機に設置する。試験方法は、図-4に示すように埋め込んだ先端部から 45 度の円錐形範囲を避けて、引抜き試験の支持治具を設置する。荷重の載荷方法は JIS に基づいた引抜き速度とする。実験においては鉄筋が破断するかコンクリートが破壊するまで荷重を載荷する。計測は埋め込み鉄筋長の 1/2 の位置と鉄筋のみ高さ 150mm の位置とする。また、変位は引抜き試験機での変位を 2 点計測し、その平均値とする。

表-4 引抜き試験による耐荷力

埋め込み長 L(mm)	供試体名	耐荷力 Pmax(kN)	平均耐荷力 (kN)	耐荷力比	
217	L217-A	55.43	55.84	—	—
	L217-B	56.25			
	L217-C	56.88			
163	L163-A	55.40	56.63	—	1.01
	L163-B	57.85			
	L163-C	60.45			
108	L108-A	61.30	59.27	—	1.06
	L108-B	57.24			
	L108-C	64.65			

4. 結果および考察

(1) 引抜き耐荷力

引抜き試験による耐荷力を表-4に示す。

継手長 217mm とした供試体 L217-A, B の平均耐荷力は 55.84kN である。継手長 217mm の全面に付着用接着剤を塗布した供試体 L217-C の耐荷力は 56.88kN であり、接着剤を塗布しない供試体の 1.02 倍の耐荷力である。

次に、供試体 L217 の 75%の継手長 163mm とした供試体 L163-A, B の平均耐荷力は 56.63kN であり、供試体 L217-A, B の平均耐荷力の 1.01 倍である。また、接着剤を塗布した供試体 L163-C の耐荷力は 60.45kN であり、接着剤を用いない供試体の 1.07 倍である。供試体 L217-C の耐荷力の 1.06 倍である。

供試体 L217 の継手長の 50%とした継手長 108mm の供試体 L108-A, B の平均耐荷力は 59.27kN、供試体 L217-A, B の 1.06 倍である。接着剤を塗布した供試体 L108-C の耐荷力は 64.65kN で、供試体 L108-A, B の平均耐荷力の 1.09 倍、接着剤を用いた供試体 L217-C の耐荷力に対して 1.14 倍である。

以上より、継手長が道示に規定する 217mm に対して 75%、50%の供試体の耐荷力が向上する結果になった。また、付着用接着剤を塗布することで耐荷力が平均して 1.09 倍向上する結果が得られた。

(2) 荷重と変位の関係

本実験の荷重と変位の関係を図-5に示す。

供試体 L217-A, B は図-5(1)に示すように変位は荷重 40kN まで線形的に増加し、変位 1.0mm 以降の荷重増加においては変位の増加がやや大きくなっている。最大荷重時の変位は供試体 L217-A, B, C でそれぞれ、1.92mm, 2.49mm, 2.48mm である。

供試体 L163-A, B とともに供試体 L217 と同様に荷重 40kN まで変位が線形的に増加し、変位 1.0mm 以降の荷重増加においては増加が大きくなっている。最大荷重時の変位は供試体 L163-A, B, C でそれぞれ、1.77mm, 2.07mm, 2.12mm である。

供試体 L108-A, B, C とともにほぼ同等な増加傾向を示し、荷重 45kN まで線形的に増加している。最大荷重時の変位は供試体 L108-A, B はそれぞれ、1.81mm, 3.79mm であった。

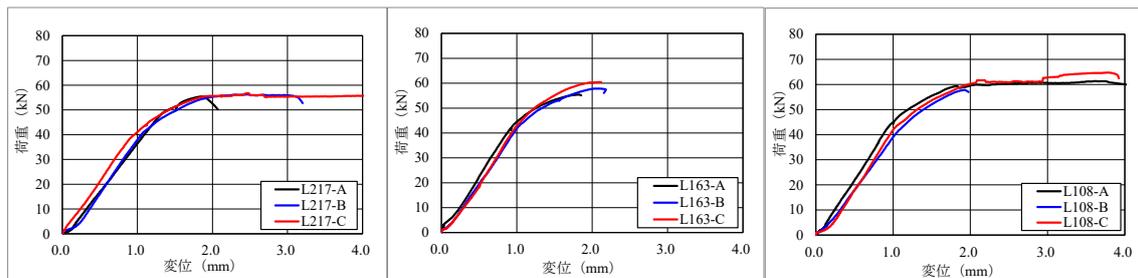
以上より、変位においては断面幅 180mm であり、コーン破壊を形成する有効水平投影面積が小さいことから、荷重と変位の関係による付着応力度の算出は困難である。

(3) 荷重とひずみの関係

荷重とひずみの関係を図-6に示す。実線は供試体の内部鉄筋、破線は供試体から出ている外部鉄筋のひずみである。

供試体 L217-A, B, C の内部鉄筋のひずみは全て降伏に至っていない。最大ひずみは、それぞれ 1390×10^{-6} , 1290×10^{-6} , 1030×10^{-6} である。これに対して外部鉄筋のひずみは全て降伏し、最大荷重時のひずみは 2504×10^{-6} , 2592×10^{-6} , 2826×10^{-6} である。

供試体 L163-A の内部ひずみは降伏し、L163-B, C は降伏に至っていない。最大荷重時のひずみはそれぞれ 1950×10^{-6} で 1774×10^{-6} , 1710×10^{-6} である。次に、外部鉄筋のひずみ供試体 L163-A は降伏に至っていない。最大荷重時のひずみはそれぞれ 2460×10^{-6} である。供試体 L108-A, B, C の内部鉄筋ひずみは降伏ひずみに達している。最大荷重時のひずみはそれぞれ、 2288×10^{-6} , 2010×10^{-6} , 4995×10^{-6} である。次に、外部鉄筋は全て降伏に至っている。最大荷重時のひ



(1) 供試体L217

(2) 供試体L163

(3) 供試体L108

図-5 荷重と変位の関係

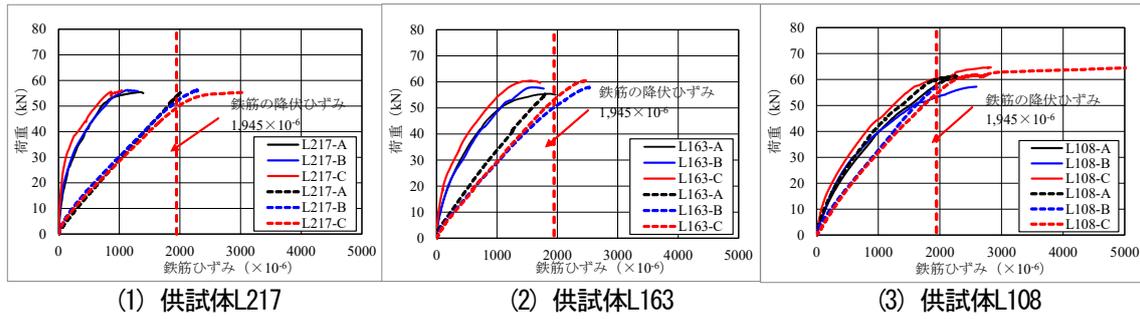


図-6 内部鉄筋および外部鉄筋の荷重とひずみの関係

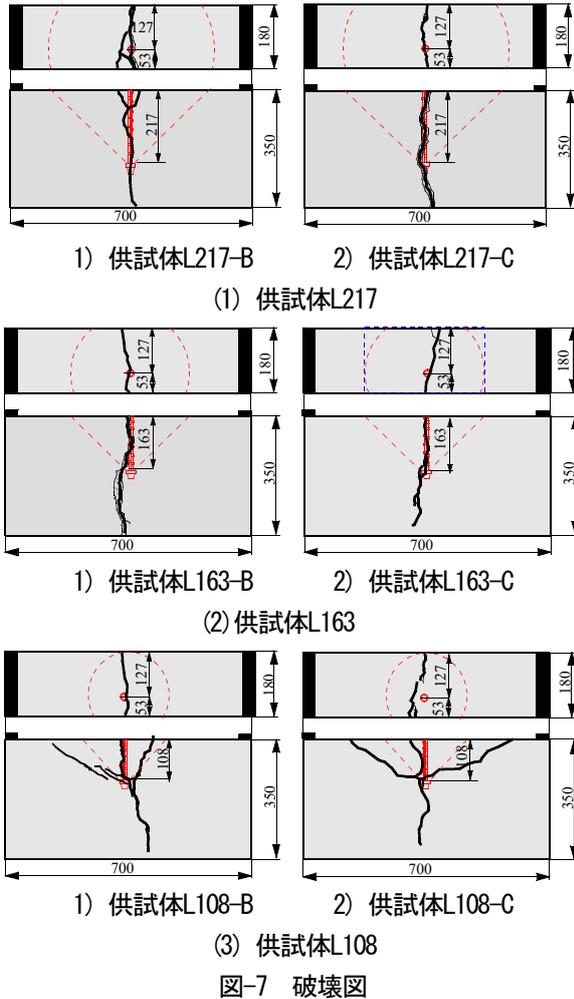


図-7 破壊図

ずみは 2280×10^{-6} , 2063×10^{-6} , 5000×10^{-6} を超えている。供試体 L108 の最大荷重付近は内部、外部とも同様の増加傾向を示している。

(5) 破壊状況

各供試体における破壊状況は類似していることから L217, L163, L108 における各供試体の B, C の破壊状況を図-7に示す。

供試体 L217-B, C は図-7(1)に示すように、上縁に発生したひび割れが荷重増加に伴い下方に伸展し、割裂破壊となった。供試体 L163-B, C は図-7(2)

に示すように供試体 L217 と同様に割裂破壊となった。供試体 L163-C は上縁から 300mm 付近までひび割れが発生している。一方、供試体 L108-B, C は図-7(3)に示すように、突起部から上縁にコーン破壊形状を示している。この影響により、供試体 L217, 163 と比較して耐力も向上している。

以上より、床版厚程度の断面に突起付き鉄筋を配置した場合は、埋め込み長が道示の基準とその 75% の埋め込み長の場合は割裂破壊となり、埋め込み長 50%とした供試体がコーン破壊へと移行された。全ての供試体で鉄筋の破断は見られない。

5. まとめ

引抜き耐力については埋め込み長を道示の規定に基づいて 217mm, その 75% の 163mm, 50% の 108mm で試験を行った。その結果、道示の規定に基づいた 217mm の耐力に対して、163mm, 108mm の耐力が上回った。217mm, 163mm は割裂破壊, 108mm がコーン破壊となった。また、荷重と変位の関係については全ての供試体において変位が 1.0 mm以降で変位の増加量が大きくなっている。荷重とひずみの関係においては、108mm の供試体のみ外部鉄筋ひずみと内部鉄筋ひずみが同様の増加傾向を示したが 217mm, 163mm では異なる増加傾向を示した。破壊状況については、割裂破壊またはコーン破壊となる結果が得られた。

よって、本実験の範囲内では、円形突起付き鉄筋は突起部が破断する前にコンクリート部の損傷が予想されると考えられる。

参考文献

- 1) 阿部忠ほか：取替 RC 床版の押抜きせん断耐力および疲労寿命推定法に関する実験研究，構造工学論文集，2020.3, Vol.66A, pp741-751
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲ，2017.
- 3) 土木学会：鉄筋定着・継手指針，2007.