付着面の異なる2タイプのUFC 埋設型枠 RC 床版の力学特性および押抜きせん断耐荷力

日大生産工(院) 〇園木 聡 日大生産工 木田 哲量・阿部 忠・澤野 利章 太平洋セメント(株) 田中 敏嗣

1. はじめに

近年,道路橋における施工の合理化、省力化が 重要課題とされ,各研究機関や企業で技術開発が行 われている. その一例として, 場所打ちコンクリ ートの型枠脱着作業を省略した埋設型枠工法が 提案されている. コンクリート施工における埋 設型枠工法には, 高強度, 高じん性を有する超 高強度繊維補強コンクリート(以下, UFC)が採用 されている. しかし, この UFC 材の埋設型枠の みの使用は費用対効果が期待されないことも懸 念されていることから, RC 床版の耐荷力, 耐疲 労性の向上を図れる一つの方法として、UFC 埋 設型枠とRC床版の合成構造を提案している.既 往研究によると、UFC 埋設型枠 RC 床版は通常 のRC 床版より高耐荷力を得られたが、RC 床版 と UFC 埋設型枠の付着面にはく離が生じること が確認されている¹⁾. そこで本研究では, 更なる 耐荷力の向上のために付着面の改善をし、一面 せん断試験, 押抜きせん断試験を行い, 力学特 性および破壊メカニズムを検証した.

2. 使用材料および供試体概要

2-1 使用材料

(1)RC 床版 供試体のコンクリートには, 普通 ポルトランドセメントと最大寸法 20mm の粗骨 材を使用した. RC 床版部のコンクリートの圧縮 強度は P タイプが 35N/mm², C タイプが 27N/mm² である. また, 鉄筋には SD295A, D10 を使用し た. 鉄筋の材料特性値は, 降伏強度が 365N/mm², 弾性係数は 200N/mm² である.

(2)UFC 埋設型枠 UFC 埋設型枠の使用材料は, 水,ポリカルボン酸系の高性能減水剤,プレミ ックス材料および鋼繊維である.鋼繊維は,直 径 0.2mm,長さ 15mm を体積比で 2.0%混入した. プレミックス材料は,セメント,シリカフュー ム,硅石粉末などが最密充填されるように配合 されており,粗骨材は使用せずに最大粒径 2mm の硅砂を混合した.混和剤使用量は,目標フロ ー値を 240mm として決定した. UFC の圧縮強度 は 200N/mm²,曲げ強度は 30N/mm²である.

2-2 供試体概要

(1) 供試体寸法および鉄筋配置 本供試体は, 道路橋示方書・同解説 II²⁾(以下,道示 II とする) に基づいて, RC 床版の設計支間は 1200mm と, 大型車両の1日1方向あたりの計画交通量は 20 00 台以上を想定して床版厚,鉄筋量を算出し, その1/2 モデルとした.ここで,本実験供試体の 寸法および鉄筋配置を図-1 に示す.

供試体は、床版厚 130mm とし、引張鉄筋かぶり 内に UFC 埋設型枠を配置した.ここで、P タイ プの UFC 埋設型枠を合成した RC 床版供試体名 称を U.RC-S-P, C タイプの UFC 埋設型枠を合成 した RC 床版供試体を U.RC-S-C とする.

(2) UFC 埋設型枠の付着面形状と寸法 UFC 埋設型枠と RC 床版との合成効果を高めるためには、UFC 埋設型枠の合成面の構造が重要となる. 従来の合成面は UFC 埋設型枠側に φ 9mm, 深さ5mm の凹部を一様に設けた構造である(以下, P タイプ). そこで、本研究では、付着力をさらに



Mechanical Characteristic and Punching Shear Load-carrying Capacity in Two Different Types UFC Permanent Interface. Satoshi SONOKI Tetsukazu KIDA,Tadashi ABE,Toshiaki SAWANO,Satoshi TANAKA





(1) 埋設型枠設置

(2)鉄筋配置 図-3 UFC 埋設型枠 RC 床版施工方法

高めるために UFC 埋設型枠側に φ 15mm, 高さ 5mm の凸部を一様に設けた(以下, C タイプ). ここで、UFC とコンクリートとの面積比率は、 P タイプで6:4, C タイプで4:6 である. UFC埋設型枠の寸法は, RC 床版の引張鉄筋かぶり内 に埋設することから,幅 1470mm,厚さ 20mm とし,付着面厚は5mmとした.ここで, Pタイ プ, Cタイプの付着面を図-2に示す.

(3)UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の作製 UFC 埋設型枠は、凹、凸型の型枠を用いて製作し、2 0℃で24時間養生(1次養生),その後48時間90℃ の蒸気養生(2次養生)を行った.次に,UFC 埋設 型枠 RC 床版の作製は、図-3 に示すように予め製 作した UFC 埋設型枠(1450×1450×20m m)を床版 底面に設置し, その上に直接に鉄筋を配置し, コンクリートを打設して一体構造とした.

3. 一面せん断試験

3-1 一面せん断試験方法 供試体の作製は, UFC 材の材料特性値を得るために角柱(□ 100×100×400mm) 用の管理供試体型枠を用い、 片側のコンクリートとの合成面にコンクリート を打設して一体構造とした.供試体は角柱供試 体を長さ方向 1/2 の位置で切断し、一面せん断 試験と圧縮試験に用いる.モードⅡ型一面せん 断試験により得られるコンクリートせん断応力 度 f_{cv0}を式(1)より算出する.

3-2 一面せん断強度

本実験における付着面をPタイプおよびCタ イプとした場合の一面せん断強度とコンクリー トの圧縮強度の関係を図-4に示す.図-4より得 られたせん断強度と圧縮強度の関係をもとに、 UFC 埋設型枠の凹凸部のばらつきによる損失を 約 10%考慮したせん断耐荷力式を P タイプの場 合は式(2), Cタイプの場合は式(3)として提案す ろ.

$$f_{cv0,P} = 0.248 f_{c}^{0.610}$$
(2)
$$f_{cv0,C} = 0.372 f_{c}^{0.610}$$
(3)

トの上縮强度(N/mm*) エンクリ



3. 押抜きせん断試験

3-1 押抜きせん断試験方法 静荷重実験は,曲 げ応力が最大となる供試体中央に車輪を停止し た状態の実験である.載荷方法は 10kN ずつ荷重 を増加し,鉄筋が降伏した後は 5.0kN ずつ荷重を 増加し,破壊するまで荷重の増加を行う.

3-2 実験耐荷力比 静荷重実験により得られ た最大耐荷力を表-1 に示す. UFC 埋設型枠 RC 床版供試体における P タイプの押抜きせん断平 均耐荷力は 294.7kN, C タイプは 312.3kN であ り,耐荷力比は C タイプが 1.06 倍となった. C タイプはコンクリートの圧縮強度が 27N/mm²で あることから,大幅な耐荷力の向上は見られな い.

供試体	最大耐荷力 (P _{max})	平均耐荷力 (P _{cp})	耐荷力比			
	(kN)	(kN)	U.RC/RC			
U.RC13-P1	299.6	204.7	_			
U.RC13-P2	289.7	294.7				
U.RC13-C1	314.2	212.2	1.06			
U.RC13-C2	310.3	512.5				

表-1 最大耐荷力比

3-3 押抜きせん断耐荷力式 UFC 埋設型枠 RC 床版供試体の押抜きせん断力学モデルを図 -5 に示す. RC 床版の等価応力ブロックの範囲 には、コンクリートのせん断強度の影響による 押抜きせん断強度を考慮した. 引張鉄筋かぶり 内はUFC 埋設型枠と RC 床版部との付着面のせ ん断強度の影響によるものと、付着面にはく離 が生じない場合は、UFC の曲げ強度から得られ る引張強度の影響について検討する必要があ る. 付着面を P タイプとした場合は、コンクリ ート側の面積比が40%、Cタイプは60%である. この付着面が及ぼす範囲は, RC 床版の押抜きせ ん断破壊時のダウエル効果が及ぼす範囲とす る. また, 付着力に比して曲げ引張強度が大き い場合は、鋼繊維の架橋効果の影響を考慮する. よって、UFC 埋設型枠 RC 床版押抜きせん断耐 荷力,付着面のせん断強度が及ぼす影響と鋼繊 維の架橋効果の影響を比較して、絶対値の小さ い方が UFC 埋設型枠 RC 床版の押抜きせん断耐 荷力となる.よって,式(4)として与えられる. $V_{\text{crufc}} = f_{\alpha 0} \{2(B+2a)a+2(A \times a)\} + V_{\text{crufc}}$ (4)

f_{cv0}=0.688f_c^{0.610} ・せん断強度を適用する場合

 $V_{\alpha,f} = f_{\alpha,0P} \{ 2(4C_X + 2d_d + B)C_X + 2(A + 2d_d)C_X \}$



図-5 押抜きせん断力学モデル図

Pタイプ: f_{c0P} =0.248 f_{c}^{0610} ≦ f_{c} =80N/mm² Cタイプ: f_{c0C} =0.372 f_{c}^{0610} ≦ f_{c} =80N/mm²

・引張強度を適用する場合

 $V_{q \cdot fi} = f_{t \cdot UFC} \{ 2(2d_d + B) + (A + 2d_d) t_{UFC} \}$ $f_{t \cdot UFC} = (f_h - 1.54) / 2.54$

ここで、A、B:載荷版の主鉄筋、配力筋方向の 辺長(mm)、a:主鉄筋(a_x)と配力筋方向(a_y)の 等価応力ブロックの大きさの平均(=(a_x + a_y)/2)、f_{cv0}:コンクリートのせん断強度 (N/mm²)¹⁾、f_t:コンクリート引張強度(N/mm²)、 C_x:ダウエル効果の及ぼす影響範囲(=C'_d×(f_{yd} +f_y)/2f_y)、C'_d:主鉄筋のかぶり(d'_x)と配力筋方 向のかぶり(d'_x)の平均(=(d'_x+d'_y)/2)、d_d:主 鉄筋の有効高さ(d_x)と配力筋方向の有効高さ (d_y)の平均(=(H-C_x))、f_c:コンクリートの圧 縮強度(N/mm²)、f_{cv0.P}:Pタイプの一面せん断強 度(N/mm²)、f_t.UFCの引張強度(N/mm²)、f_b: UFCの曲げ強度(N/mm²)

3-4 理論押抜きせん断耐荷力 RC 床版の押抜 きせん断強度を表-2 に示す.表-2 より,付着面 を P タイプとした場合は,UFC の引張強度に達 する前に付着面がせん断破壊となり,理論押抜 きせん断耐荷力は 274.3kN である.曲げ引張強 度を適用した場合は 290.9kN であり,合成面の せん断強度の影響により押抜きせん断破壊とな

表-2	理論耐荷力比
-----	--------

	最大耐荷力	理論耐荷力		耐荷力比		
供試体	(P _{max})	$(V_{cp.UFC})$ (kN)				
	(kN)	f _{cv0.P}	f_{t} .	(kN)		
U.RC13-P1	299.6	274.2	200.0	1.09		
U.RC13-P2	289.7	274.5	290.9	1.06		
U.RC13-C1	314.2	338.0	<u>291.3</u>	1.08		
U.RC13-C2	310.3			1.07		



図-6 破壊形状一例

った.また、Cタイプの場合は付着面の合成効果 が向上し、せん断強度の影響による押抜きせん 断強度は 338.0kN となり、曲げ引張強度を適用 した場合は 291.3kN となり、絶対値の小さい方 が理論押抜きせん断耐荷力となる.

3-5 破壊形状 供試体の破壊形状の一例を図-6 に示す. U.RC13-P の破壊状況は図-6 に示すよ うに,輪荷重の接地面から約45度底面の内側は, 微細なひび割れが軸方向および軸直角方向に発 生している. また, 45 度底面の外側は降伏線方 向にひび割れが分散して発生している. RC 床 版と UFC の付着面ははく離している. 最終的な 破壊形状は,輪荷重が荷重載荷中に付着面がせ ん断破壊を起こすと同時に押抜きせん断破壊に 至った. 次に, U.RC13-C の破壊状況は, 輪荷 重の接地面から約 45 度底面の内側は, U.RC13-P と同様に微細なひび割れが軸方向および軸直 角方向に発生しているが,供試体下面において, ダウエル効果の及ぼす範囲で曲げ破壊が生じて おり、その範囲内で微細なひび割れも発生して いる.また、ダウエル効果の及ぼす範囲の外側 は降伏線方向にひび割れが分散して発生してい る. 最終的な破壊形状は, 輪荷重が荷重載荷中 にダウエル効果の及ぼす範囲で UFC 埋設型枠の 曲げ破壊が生じると同時に押抜きせん断破壊に 至った.

3-6 荷重とたわみの関係 静荷重実験における 荷重とたわみの関係を図-7 に示す.U.RC13-P1, 2 ともに、荷重 100kN 付近までたわみは荷重の 増加に伴ってほぼ線形的に増加するものの、そ の後の荷重増加に伴ってたわみが徐々に増加し てゆく傾向がみられた.U.RC13-C1,2 では、荷重 170kN 付近まではほぼ線形的なたわみの増加が 見られ、その後の荷重増加に伴ってたわみが 徐々に増加してゆく傾向が見られた.最終的な たわみは、U.RC13-P1, 2、U.RC13-C1, 2 でそれ



ぞれ 6.1mm, 7.275mm, 6.345mm, 7.295mm とな り,終局時のたわみの抑制はみられなかった. しかし,各荷重載荷時におけるそれぞれのたわ みを比較すると,U.RC13-CはU.RC13-P より抑 制がみられた.これは,UFC 埋設型枠の付着面 を改善したことによって,合成効果が向上し, たわみが抑制されたものと思われる.

- 4. まとめ
- (1)付着面をCタイプとすることで,付着面のせん断強度向上したため,RC床版とUFC 埋設型枠の付着面のはく離が抑制され,押抜きせん断耐荷力は向上した.
- (2)理論押抜きせん断耐荷力は付着面のせん断 強度と曲げ引張強度の関係より,算出される が,絶対値が小さい理論押抜きせん断耐荷力 が実験耐荷力と良く近似した.
- (3)破壊形状は付着面をPタイプとした場合は付 着面がはく離すると同時に押抜きせん断破壊 となり、Cタイプとした場合は合成効果が向 上し、UFC 埋設型枠が曲げ破壊が生じると同 時に押抜きせん断破壊に至った.
- (4)荷重とたわみの関係では、すべての供試体で、ある一定値まではたわみは線形的に上昇してゆくが、その後の荷重増加にしたがって徐々にたわみが増加してゆく傾向がみられた.終局時には、たわみの抑制がみられなかったが、各荷重裁荷時において、合成効果の向上によるたわみの抑制がみられた.

参考文献

1) 阿部忠,木田哲量,新見彩,高野真希子,田 中敏嗣:UFC 埋設型枠 RC 床版の合成面のせん 断強度および理論押抜きせん断耐力式,構造工 学論文集 Vol.55A, pp1478-1487, (2009)

2) 日本道路協会:道路橋示方書·同解説Ⅱ,2004