

論文 押出成形板を用いた合成床の曲げ性能に関する実験研究

和知俊興*¹・福山 洋*²・橋本敏男*³・魚谷和亮*⁴

要旨：RC造建築物において、床上走行式の施工機械を使用して躯体工事の施工を行う構法が研究されている。その場合、施工機械の通行に支障のない作業通路を確保するために床型枠を無支保工化し、床型枠のみで施工荷重を負担するとともに、床スラブコンクリート打設後2～3日で施工機械が走行できる床スラブ構造システムが求められている。本研究は、床スラブの打込型枠として曲げ比強度の大きい押出成形板を用い、その中空部に鉄筋を挿入しグラウトした無支保工合成床について、コンクリート打設時、弱材齢の施工機械走行時および長期荷重時を想定した曲げ強度試験を行い、合成床の構造性能を検討し、構造設計での考え方を示したものである。

キーワード：打込型枠、押出成形板、合成スラブ、無支保工、曲げ試験

1. はじめに

床スラブにおいて、打込型枠を用い、その上部に現場打コンクリートを打設する合成スラブ工法は無支保工化が可能であり、型枠の解体が不要で残材が発生しない等、多くの施工上の利点がある。また、工期のより短縮化を目指して、3日材齢の無支保工床スラブ上で床上走行機械を使用して躯体工事の施工を行う構法も提案されている。その場合、床スラブの打込型枠には曲げ比強度の大きな材料が不可欠である。そこで今回は、打込型枠に図-1のような力学特性を有する押出成形板を使用することにした。なお、この材料のヤング係数は $2.2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ でコンクリートとほぼ同等である。ただし、この材料はぜい性的に破壊するため、その内部に鉄筋を挿入し、ある程度の靱性をもたせることにした。本研究は、将来、鉄筋も同時に押出成形されることを想定して、その中空部に鉄筋を挿入しグラウトした押出成形板を打込型枠とした合成床について、コンクリート打設時、3日材齢の施工機械走行時および4週状態での曲げ性能および変形状を実験により確認するとともに、床型枠の設計法に関する基礎的資料を得ることを目的としたものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体数は、押出成形板単板、合成板および在来RC板を含めた計22体である。押出成形板単板の試験体は計8体であり、そのうち3体(A1～A3)はその中空部に鉄筋を挿入していない押出成形板(以下、無筋とする)で、他はその中空部に鉄筋を挿入しグラウトした押出成形板(以

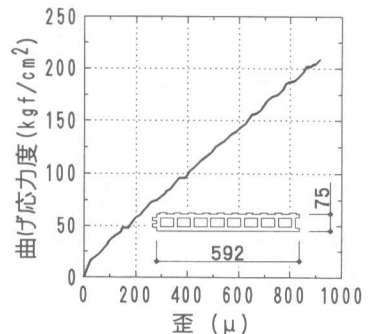


図-1 押出成形板の応力度-歪曲線

- * 1 鉄建建設(株) 技術研究所 (正会員)
- * 2 建設省建築研究所 第3研究部、工博 (正会員)
- * 3 (財)建材試験センター 中央試験所
- * 4 鉄建建設(株) 技術研究所

下、有筋とする)である。A 4は4-D6を、A 5、A 6は4-D10を、A 7、A 8は4-D13を挿入している。主な変動因子は、押出成形板内鉄筋の有無および鉄筋量である。合成板および在来RC板の試験体は計14体であり、その諸元を表-1に、試験体の断面の一例を図-2に示す。試験体断面寸法は592×175mmで、合成板のトップコンクリート部分を100mmとした。B1~B11は合成板と在来RC板で、主な変動因子は、押出成形板内鉄筋の有無、鉄筋量、トップコンクリート材齢である。C1、C2は合成板と在来RC板の両端固定型である。D1は合成板の中央梁付で、主にひび割れ幅について検討した試験体である。なお、C1は経時計測も兼ねた試験体で、3日材齢で施工機械相当荷重を載荷しており、その時、両端の上端にひび割れが発生している。使用した鉄筋、押出成形板(押出方向)、グラウトの試験結果を表-2、表-3に示す。

押出成形板の打継面の表面形状は、トップコンクリートとの一体性を確保するために、材軸方向に連続した幅30mm高さ5mmのリブを有している。図-3に押出成形板の詳細を示す。なお、全ての合成板の試験体で、押出成形板とトップコンクリートのずれは見られなかった。

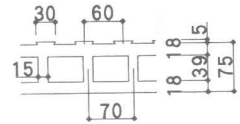
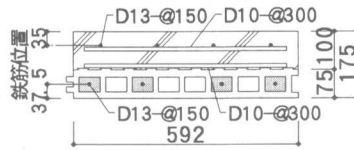


図-2 試験体断面(B6)

図-3 押出成形板詳細

表-1 試験体一覧

試験体記号	載荷材齢	載荷タイプ	断面タイプ	上端筋主筋	下端筋主筋	トップコンクリート			断面タイプ
						圧縮強度(kgf/cm ²)	割裂引張強度(kgf/cm ²)	ヤング係数(kgf/cm ²)	
B1	3日	単純梁形式 4等分2線載荷	タイプⅠ	3-D10		119	11.7	1.44×10 ⁵	
B2	3日		タイプⅢ	4-D10	4-D10				
B3	28日		タイプⅠ	3-D10					
B4	28日		タイプⅡ	3-D10	3-D10				
B5	28日		タイプⅢ	4-D10	4-D10				
B6	28日		タイプⅢ	4-D13	4-D13				
B7	28日		在来RC	4-D13	4-D13				
B8	28日		タイプⅢ	4-D10	4-D6				
B9	28日		タイプⅢ	4-D10	4-D10				
B10	28日		タイプⅢ	4-D10	4-D13				
B11	28日		在来RC	4-D10	4-D10				
C1	28日	両端固定形式	タイプⅢ	4-D13	4-D13	289	—	2.29×10 ⁵	
C2	28日	4等分2線載荷	在来RC	4-D13	4-D13				
D1	3日	単純梁形式 負曲げ載荷	タイプⅢ	4-D13	4-D13	142	15.4	2.15×10 ⁵	

*上端配筋筋は、全てD10-#300。B1, B3は下端配筋筋なし。他の下端配筋筋は、全てD10-#300。

表-2 鉄筋試験結果

径	D6	D10	D13
降伏強度(kgf/cm ²)	4,330	3,770	4,040
ヤング係数(×10 ⁶ kgf/cm ²)	1.91	2.07	2.17

表-3 押出成形板(押出方向)・グラウト試験結果

引強	度(kgf/cm ²)	212
張ヤング係数	(kgf/cm ²)	2.26×10 ⁵
圧強	度(kgf/cm ²)	790
縮ヤング係数	(kgf/cm ²)	2.37×10 ⁶
グラウト圧縮強度	(kgf/cm ²)	620

2.2 加力および測定方法

図-4に載荷方法と計測位置の概要を示す。反力点の支持状況は、単純梁ではピンローラー支承で支持し、両端固定型は両端をPC鋼棒で固定した。正曲げ試験は4等分2線載荷、負曲げ試験

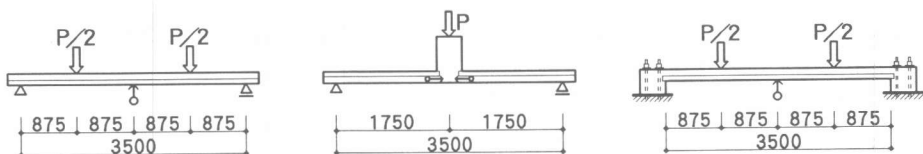


図-4 載荷方法と計測位置

験は1点集中載荷により、設計荷重まで載荷して除荷した後、終局まで載荷を行った。測定項目は、荷重、変位、ひび割れ幅、鉄筋および押出成形板の歪である。

3. 床の曲げ性能

3.1 コンクリート打設時の検討

代表的な押出成形板単板の荷重-変位曲線を図-5に示す図中の○は、押出成形板の初期ひび割れを示す(以下、共通)。支持スパン内に支保工を設けない場合の床型枠は、打設時のコンクリート自重と作業荷重(150kgf/m²)を加えた荷重を負担することになる。そこで、床型枠を一方向の単純梁と考え試算すると、トップコンクリート厚さ100mmの場合の設計荷重は、押出成形板1枚当たり0.81tfとなった。

いずれの試験体もひび割れの発生と同時に最大耐力を示し、無筋の押出成形板を使用した試験体A1、A2は割れ落ちた。一方、有筋の押出成形板を使用した試験体A4、A5、A7は急激な耐力低下を示したが、鉄筋量に応じた耐力を保有していた。以上より、コンクリート打設時のひび割れ荷重の安全率は2.5~3.5であるが、無筋の押出成形板にはひび割れ後の耐力はなく、不測の事態で押出成形板にひび割れが発生した場合を考えると、押出成形板内に相当量の鉄筋を挿入するか、コンクリート打設時には支保工を増すことで安全を保證する必要があると考えられる。また、ひび割れ荷重について比較すると、有筋の試験体はいずれも無筋の試験体に比べて低い値を示した。これは押出成形板に挿入した膨張性グラウトの影響により、押出成形板に予めある程度の引張強度が働いたことが原因の一つとして考えられる。

3.2 施工機械走行時の検討

3日材齢の試験体B1、B2の荷重-変位曲線を図-6に示す。支持スパン内に支保工を設けない場合の床型枠は、床上走行式施工機械の荷重をトップコンクリートと一体となって負担することになる。そこで、施工機械荷重について考えると、施工機械の荷重(2ton)に衝撃力(荷重の20%)を考慮し、さらに、一方向スラブとしての荷重の負担幅を支持スパンの2/3、端部の固定度の減少による割増しを4/3として試算すると、両端固定梁と等価なモーメントとなる一方向の単純梁の設計荷重は、押出成形板1枚当たり1.37tfとなった。

いずれの試験体もひび割れの発生と同時に最大耐力を示し、急激な耐力低下を示した。無筋の押出成形板を使用したB1は押出成形板ひび割れ後は耐力を維持することができなかった。一方、有筋の押出成形板を使用したB2は押出成形板ひび割れ後も耐力を維持していた。以上より、施工機械走行時のひび割れ荷重の安全率は3.4であるが、B2の断面では押出成形板ひび割れ後も十分な耐力を有しており、押出成形板にひび割れが発生した場合を考えると、押出成形板内の鉄筋は有効であると言える。

3.3 長期設計荷重の検討

28日材齢の試験体B5、B6、B7、B11の荷重-変位曲線を図-7に示す。長期荷重時の合

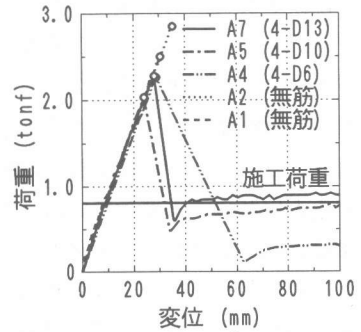


図-5 押出成形板の荷重-変位曲線

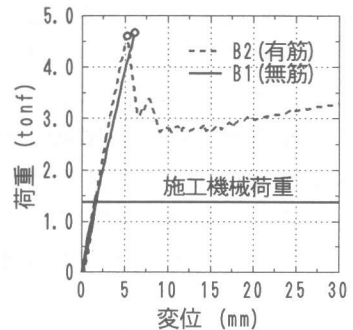


図-6 3日材齢の荷重-変位曲線

成床は、事務所の積載荷重(300kgf/m²)と仕上げ重量(70kgf/m²)を加えた荷重を負担することになる。試算すると、一方向の両端固定梁と等価なモーメントとなる一方向の単純梁の設計荷重は、押出成形板1枚当たり0.26tfとなった。

B5、B6は、押出成形板に初期ひび割れが局部的に発生すると同時に、一時的な耐力低下を示したが、その後、荷重は増加していき最大荷重はひび割れ荷重を上回った。また、鉄筋量が同じ在来RC板(B7、B11)以上の耐力を有していた。長期設計荷重に対してひび割れ荷重の安全率は約17で、押出成形板のひび割れ後も鉄筋量に応じた耐力を有していた。また、鉄筋量が同じならば、変位がL/250では、在来RC板に比べて合成板は1.5倍の耐力を有していた。以上より、鉄筋量が同じなら、有筋の押出成形板を使用した合成スラブは、在来RCスラブ以上の曲げ性能を有していると言える。

3.4 材齢による曲げ性能の比較

トップコンクリートの材齢が異なる断面タイプⅢの試験体B2、B5の荷重-変位曲線を図-8に示す。

いずれの試験体もひび割れの発生と同時に最大耐力を示し、耐力低下を示したが、その後も耐力を維持していた。初期剛性にトップコンクリートのヤング係数の影響が若干見られたが、ひび割れ荷重はほぼ同じでトップコンクリートの材齢による影響は見られなかった。また、トップコンクリート強度の上昇したB5は、ひび割れ後の耐力低下が小さく、その後の耐力も大きかった。

3.5 配筋による曲げ性能の比較

28日材齢の試験体B3(タイプⅠ)、B4(タイプⅡ)、B5(タイプⅢ)の荷重-変位曲線を図-9に示す。

いずれの試験体もひび割れの発生と同時に最大耐力を示し、急激な耐力低下を示した。その後、下端筋のないB3は押出成形板のひび割れ後急激に耐力低下したが、下端筋を押出成形板直上に配したB4は、長期荷重相当以上の耐力は有していた。一方、有筋の押出成形板を使用したB5は、一時的な耐力低下を示しながらも十分な耐力を維持していた。以上より、押出成形板を使用した合成スラブにも下端筋が必要であり、それも、押出成形板内に下端主筋を挿入することが必要であると言える。

3.6 両端固定の場合の在来RC板との比較

28日材齢の試験体C1、C2の荷重-変位曲線を図-10に示す。

C1は局部的にひび割れが発生すると同時に、一時的な耐力低下を示した。その後、一時的な耐力低下を示しながら荷重は増加していき、最大荷重はひび割れ荷重を上回った。また、同荷重で比較すると、C1はC2に比べてその変位は小さかった。以上より、有筋の押出成形板を使用

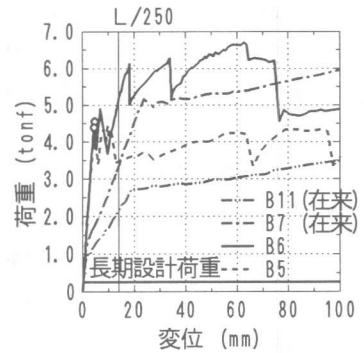


図-7 在来RCと合成床の比較

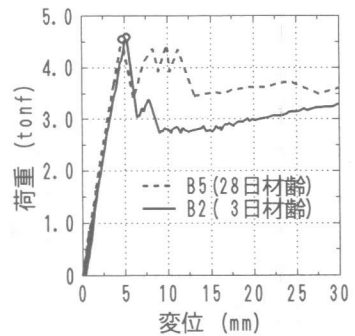


図-8 トップコンクリート材齢の比較

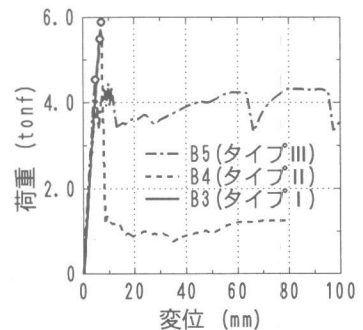


図-9 配筋形式の比較

した合成スラブは、在来RCスラブ以上の曲げ性能を有していると言える。

3.7 型枠曲げ強度の検討

図-11に各試験体の押出成形板の曲げ強度を示す。この値は載荷試験直前に押出成形板に働いている応力度と載荷試験より得られた曲げ強度を加えたものである。図中のグラウトによる応力度、グラウト+コンクリート打設応力度は自重を含めた実測値であり、コンクリート打設応力度は自重を含まない実測値で経時変化を考慮していない。自重による応力度は計算値である。

本実験では、押出成形板単板、合成板ともに、押出成形板内に挿入した鉄筋およびその鉄筋量とトップコンクリートの材齢等の因子が、曲げ強度に及ぼす影響は特に見られなかった。しかし、全般的に、合成板は押出成形板単板に比べて曲げ強度の低下が見られた。

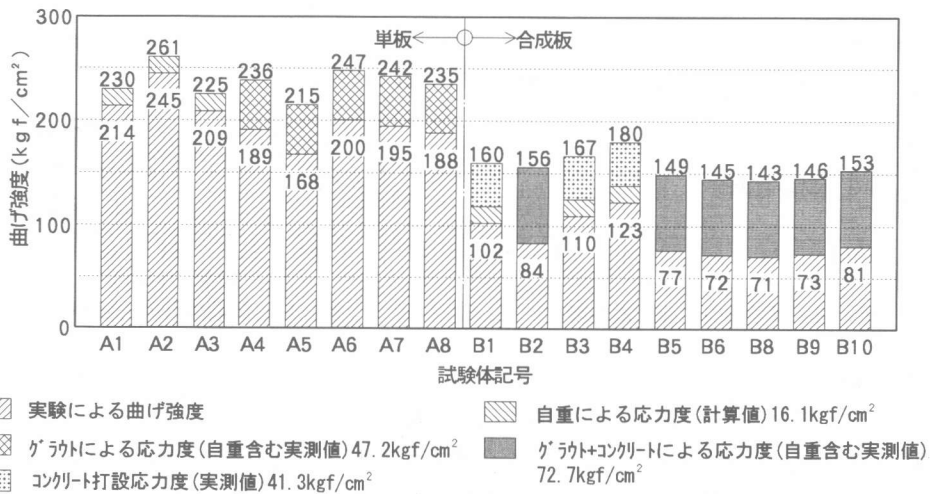


図-11 押出成形板曲げ強度

3.8 ひび割れ幅の検討

3日材齢の負曲げ試験体D1の鉄筋応力度-ひび割れ幅の関係を図-12に示す。ひび割れ幅は梁とスラブの接合位置で測定したものであり、鉄筋の応力度は歪ゲージより得られたものである。図中のWav, Wmax は、建築学会PRC指針[1]のひび割れ幅算定式による平均ひび割れ幅と最大ひび割れ幅である。ここで、平均ひび割れ間隔Lavは梁の影響を考慮して次式に示す値として、Wav, Wmaxを求めた。

$$L_{av} = \{2(C+s/10) + k\phi / Pe\} / 2 + b/2 \quad (1)$$

ここに、C: スラブ下端鉄筋のかぶり厚さ

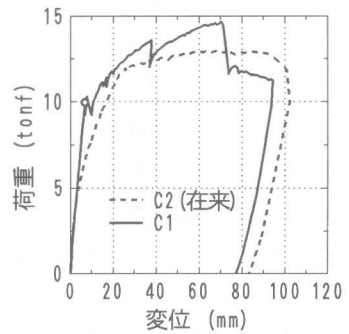


図-10 在来RCと合成床の比較

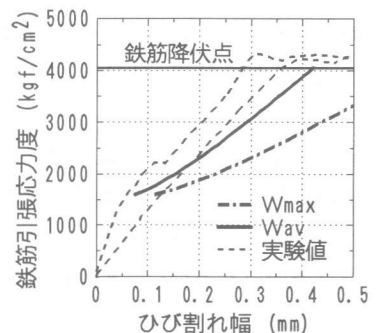


図-12 鉄筋応力度とひび割れ幅の関係

s : 鉄筋の中心距離

k : 0.0025 t (t : スラブ厚さ)

ϕ : 鉄筋の直径

Pe : a t (引張鉄筋断面積) / A ce (有効引張断面積)

b : 梁幅

このことから、3日材齢におけるひび割れ幅は、P R C 指針のひび割れ幅算定式とほぼ一致し、4週材齢と同様に考えてよいと思われる。

3.9 経時変化について

図-13にC1のコンクリート打設から荷重実験までの変位を、図-14に押出成形板、下端鉄筋、上端鉄筋の歪を示す。なお、各値は、コンクリート打設直前の値を0として3日材齢荷重実験の残留値を無視して値を累加した。変位は、コンクリート打設終了後、約10時間まで一時的に減少するが、50時間程度で打設時とほぼ同程度となり、その後、徐々に増加した。また、押出成形板の歪は、打設終了後、約100時間まで増加していき、その後、減少し500時間で落ちついた。下端、上端鉄筋の歪は、温度変化によると思われる変動を示しながら徐々に増加していった。上端鉄筋の歪は330時間からは急激に増加した。一方、下端鉄筋の歪は400時間あたりから上昇が止まり、押出成形板と同じ値を示した。

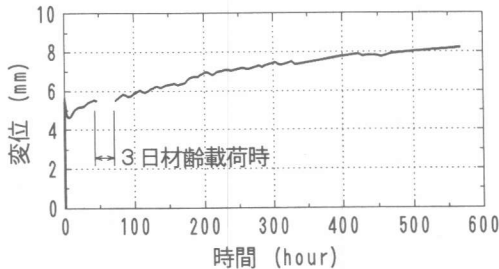


図-13 試験体C1の変位経時変化

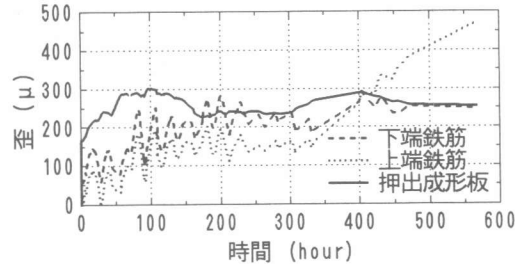


図-14 試験体C1の歪経時変化

4. まとめ

以上の実験結果から、下記のことが明らかになった。

- ① 下端主筋を押出成形板の中空部に配筋した合成スラブは、高い曲げ強度を有しており、コンクリート打設時、3日材齢での機械走行時ともに、無支保工での設計が可能である。
- ② 有筋の押出成形板を使用した合成床は、在来RC床よりも変形が小さく優れた曲げ性能を示した。
- ③ 押出成形板は、床型枠として十分な靱性を有しているとはいいがたいが、その内部に鉄筋等を挿入し靱性を付与させることによって、施工時の十分な安全を確保することが可能である。今回の条件では、コンクリート打設時が安全に対して最も厳しい条件であった。
- ④ 押出成形板を使用した合成スラブのひび割れ幅は、弱材齢も4週材齢とほぼ同様に考えてよいと思われる。
- ⑤ 本実験では、押出成形板の曲げ強度は、合成床の方が単板よりも約35%低い値を示した。

【謝辞】 本研究は、建設省新施工総プロの型枠新材料評価WGとARC構法WGの一環として行ったものである。貴重なご意見をいただいた各WG、(財)建材試験センター、鉄建建設機技術研究所の方々並びに、押出成形板を提供頂いた方々に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会:プレストレス鉄筋コンクリート構造設計・施工指針・同解説、pp.112-113 1986年