

論文 打ち込み型枠材を用いた両端拘束一方向性合成スラブの荷重変形特性に関する研究

森村 毅*1・在永 末徳*2・馬場 明生*3

要旨：最近，建設省は現場の週休2日制や施工の自動化等を現場に導入するため自動化適合型鉄筋コンクリート構法の開発を進めている。本研究は，その一環として床構法の開発に取り組み，高曲げ強度の打ち込み型枠材を用いて若材令（3日）で作業可能な合成スラブを開発することを目的としている（1）。その内，本論文は断面形状の異なった型枠材を用いて両端拘束一方向性合成スラブを若材令と標準材令に分けて耐力実験を行い，一体性について検討を行った。その結果，表面に凸凹を施した型枠材を用いた合成スラブは荷重変形特性，曲げ強度および一体性に優れた効果があることがわかった。
 キーワード：打ち込み型枠材，若材令・標準材令，曲げ強度

§1 はじめに

21世紀を控えて地球環境問題は深刻化し，その原因の一つに熱帯雨林の伐採による影響が挙げられる。特に日本では，その多くを鉄筋コンクリート造の型枠用合板で消費されている。また一方，建設熟練技能工の高齢化，特に型枠大工の不足が叫ばれている。そのため型枠用合板代替用の開発および建設熟練技能工の不足を補う施工の自動化等の技術開発を急ぐ必要がある。そのため建設省をはじめ各企業間では，省力化・合理化工法や建設用ロボットの導入を積極的に押し進めている。それらの技術を受け入れるためには，まず若材令で使用可能な床構法を確立する必要がある。

そこで本研究では建設省が進めている自動化適合型鉄筋コンクリート構法（ARC）の一環として高曲げ強度を持つ打ち込み型枠材（以後型枠材と称する）とトップコンクリートを若材令（3日）および標準材令（28日）で一体化させることを目的に両端拘束一方向性合成スラブの耐力実験を行い，型枠材の表面形状・トップコンクリート厚の影響・曲げ強度・面内力および荷重変形特性等を検討し，さらに，従来型中実ス

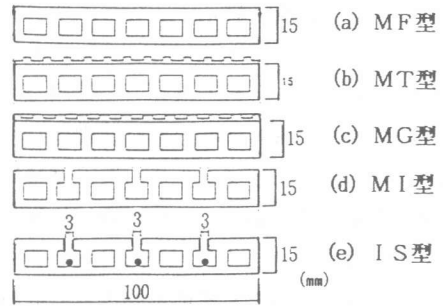


図1 打ち込み型枠材の種類

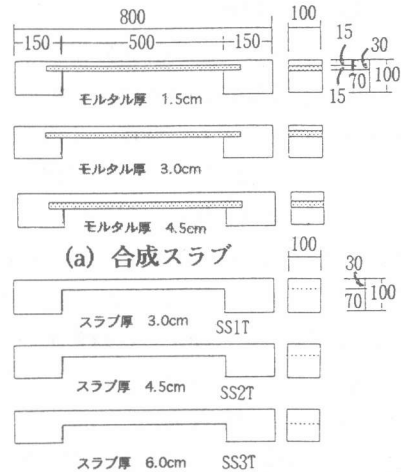


図2 合成スラブと中実スラブ

*1近畿大学助教授 工学部建築学科，工博（正会員）
 *2近畿大学教授 工学部建築学科，工博（正会員）
 *3建設省建築研究所施工管理研究官，工博（正会員）

ラブと比較検討したものである。

図示する所定位置にも同様にS.Gを貼り、ひずみ測定器で測定した。合成スラブ中央の変形量

§ 2 実験概要

1) 型枠材の種類と寸法

用いた型枠材の種類は図1(a)~(e)に示す5種類で、図1(a)~(c)をフラット型(MF)・凸型(MT)および凹型(MG)と呼び、図1(d)(e)にはMF型を改良した、MI型とそれに鉄筋を挿入したIS型がある。その寸法は図1に示すように厚さ1.52cm×幅10cm×長さ60cmのもので断面には7個の中空部をもつ。

2) 合成スラブの種類と寸法

実験に用いた両端拘束一方向性合成スラブおよび比較検討のための中実スラブ(SS型)の断面形状および寸法は図2に示すようにスラブ厚はMF, MI, IS型およびSS型が3cm, 4.5cm, 6cmの3種類, MT, MG型が3cm, 6cmの2種類で、幅10cm×長さ50cmの両端に15cm×10cmのはりを設けた全長80cmである。合成スラブはモルタルと型枠材の付着効果を高めるために、下地処理材に使用するエマルジョン型プライマー-SBR(スチレン・ブタジエン・ラバー)を薄く塗布したものを、その上にモルタルを打ち込み一体性を高めた。試験体総数は各種試験体とも3日・28日各2体の計4体ずつで総合計64体作製した。

なお、図中には型枠材厚と同厚にモルタルを打ち込んだものを1Tとし、2倍、3倍のものを2T, 3Tで表した。SSは1Tと同厚をSS1Tと呼ぶ。

3) モルタルおよび鉄筋の力学特性

合成・中実スラブに用いたモルタルは砂5mm以下を用い水セメント比は65%のものである。配筋には3.20φの焼き鈍まし鉄筋を用いた。これらの材料の力学特性は表1, 表2に示した。

4) 測定方法および荷重方法

各種試験体は両端の拘束条件を得るため図3に示すような鋼製拘束フレームに入れ、拘束フレームと試験体の両端の隙間に高強度の石膏を流し込んで一体性を得た。測定方法は面内圧縮力を測定するために拘束フレームの中央上下にストレインゲージ(S.G)を貼り、また試験体の

表1 モルタルの力学的性質

試験体種類	3日強度		28日強度	
	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 kgf/cm ²	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 kgf/cm ²
MF1T	138	1.61×10 ⁵	232	1.92×10 ⁵
MF2T	136	1.59×10 ⁵	224	2.04×10 ⁵
MF3T	136	1.59×10 ⁵	224	2.04×10 ⁵
MT1T	119	1.44×10 ⁵	164	1.92×10 ⁵
MT3T	119	1.44×10 ⁵	164	1.92×10 ⁵
MG1T	131	1.39×10 ⁵	191	1.82×10 ⁵
MG3T	131	1.39×10 ⁵	191	1.82×10 ⁵
MI1T	160	1.89×10 ⁵	226	1.84×10 ⁵
MI2T	147	1.34×10 ⁵	197	1.96×10 ⁵
MI3T	147	1.34×10 ⁵	197	1.96×10 ⁵
IS1T	160	1.89×10 ⁵	226	1.84×10 ⁵
IS2T	164	1.53×10 ⁵	203	1.99×10 ⁵
IS3T	164	1.53×10 ⁵	203	1.99×10 ⁵
SS1T	102	0.99×10 ⁵	161	1.52×10 ⁵
SS2T	102	0.99×10 ⁵	161	1.52×10 ⁵
SS3T	138	1.61×10 ⁵	232	1.92×10 ⁵

表2 鉄筋の力学的性質

降伏強度 kgf/cm ²	降伏ひずみ ε _{sy}	引張強度 kgf/cm ²	ヤング係数 kgf/cm ²
2120	2180×10 ⁻⁶	3680	2.1×10 ⁴

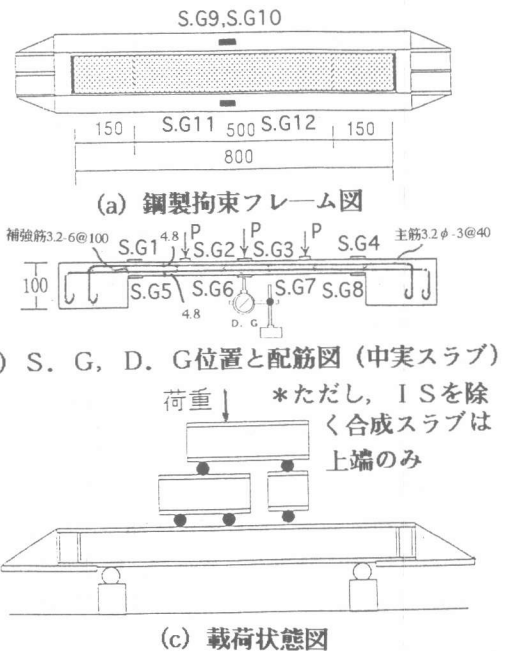


図3 鋼製拘束フレームと荷重状態図

はダイヤルゲージを取り付けて各荷重ごとに測定した。荷重方法は図3に示すように3点均等荷重方式で破壊まで単調漸増荷重で行った。

§ 3 両端拘束合成スラブの曲げ強度の算定

両端拘束合成スラブの曲げ強度は面内圧縮力が導入されるため各試験体中央の曲げモーメントが計算されないことと求めることはできない。本節ではその計算方法について述べる。

1) 基本仮定

- ① 拘束フレームの変形は弾性挙動する。
- ② 平面保持の仮定が成立する。
- ③ 面内圧縮力による変形は弾性挙動する。
- ④ 型枠材の圧縮・曲げ引張の応力度-ひずみ度曲線はフックの法則が成立する。

2) 試験体中央の曲げモーメントの誘導

型枠材を下側に用いた各種合成スラブは試験体中央部が曲げモーメントの影響を受けて曲げひび割れが生じる。型枠材の曲げ強度は試験体中央に曲げひび割れが生じた時の強度を言う。

$\sigma = E \varepsilon$ から面内力 N は図4から求めると、

$$N = A_s E_s (\varepsilon_u + \varepsilon_D) / 2 \quad (1)$$

拘束フレーム上下のひずみ分布図は図4のようになって上下が異なるため、拘束フレーム端部に生じる曲げモーメント M_s は次式となる。

$$M_s = Z_s E_s (\varepsilon_u - \varepsilon_D) / 2 \quad (2)$$

スラブ端部に生じる面内力 N と端部曲げモーメント M_e とし、拘束フレームの中心線上の O 点で釣り合いをとると、 $\Sigma M_o = 0$ より

$$M_e = N (H/2 - h/2) + M_s - W e / 2 \quad (3)$$

次に、試験体左半分の力の釣り合い状態を図5に示し、 M_c について纏めると次式になる。

$$M_c = N \delta_c - M_e + W L / 6 \quad (4)$$

ゆえに、求める面内力を有する型枠材の曲げ応力度 σ_b は次式で計算できる。

$$\sigma_b = M_c / Z_c - N / A_c \quad (5)$$

なお、 Z_c : 断面係数、 A_c は等価断面積、 A_s は鋼製拘束フレームの総断面積である。

§ 4 実験結果および考察

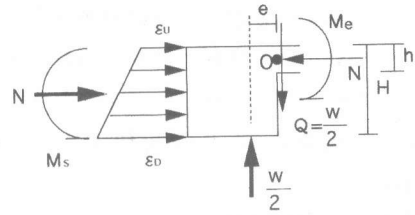


図4 試験体端部の釣り合い状態図

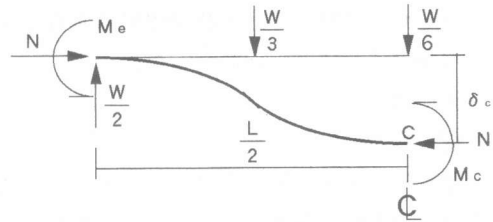


図5 両端拘束スラブの左半分の釣り合い状態図

表3 型枠材の力学特性

試験体種類	曲げ強度 (kgf/cm ²)	曲げフック係数 (kgf/cm ²)	曲げひずみ ε_b
MF型	202	3.96×10^5	479×10^{-6}
MT型	163	3.87×10^5	465×10^{-6}
MG型	176	3.97×10^5	413×10^{-6}
MI型	181	3.85×10^5	424×10^{-6}

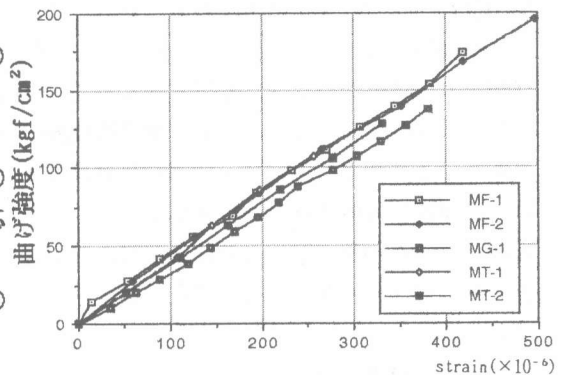


図6 各種型枠材の曲げ強度-ひずみ曲線

1) 型枠材の力学特性

表3は素材強度が200kgf/cm²級の2点均等載荷による曲げ試験の各種型枠材の曲げ強度である。表3からMF型は規格通りであったがMI型、MT型およびMG型は160～180kgf/cm²で若干低い値を示した。

図6は各種型枠材の曲げ応力度-ひずみ度曲線である。この図より各種型枠材とも曲げ応力度-ひずみ度曲線は、ほぼ同一直線上にあることを示した。すなわち、各種型枠材はともに弾性的な挙動を示すことがわかった。

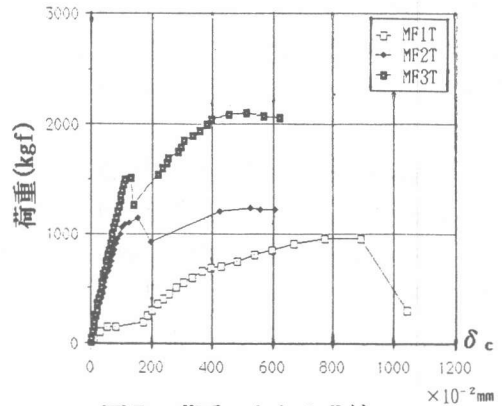


図7 荷重-たわみ曲線

2) 合成スラブ

a) 荷重変形特性

図7は同じMF型の素材を用いた1T～3Tによるスラブ厚別の荷重-たわみ曲線である。このグラフの傾向は各種型枠材別による違いはなかったため、代表としてMF型の結果で示した。

この図から1T～3Tとも型枠材中央にひび割れが発生するまではほぼ直線的に上昇し、その後、荷重は若干減少するが面内力が発生するため再び荷重上昇を示し、スラブ中央の上面が圧壊した後崩壊に至った。

b) 曲げ強度

表4は§3で求めた各種合成スラブの面内力を考慮した型枠材の曲げ強度を表し、また、図8は各種合成スラブ1Tの曲げ強度比較図である。この図から若材令のMG型を除けば支持形式にかかわらずほぼ70kgf/cm²前後で特にMI型、IS型は75～100kgf/cm²と他より大きい。これは溝と鉄筋等を設けているため、モルタルと型枠材がより一体性が高まった結果と考える。図9は打ち込みモルタル厚による曲げ強度の比較図である。この図より若材令・標準材令ではモルタル厚が厚い程曲げ強度が低下している。この原因はモルタル厚が厚いと曲げの影響より引っ張りの影響が強くなるためと考える。

表4 各種試験体の曲げ強度比較表

試験体 種類	打ち込み型 枠材強度	両端拘束ばり		単純ばり
	kgf/cm ²	3日 kgf/cm ²	28日 kgf/cm ²	28日 kgf/cm ²
MF1T	202	91.82	150.00	62.92
MF2T	202	37.94	186.24	
MF3T	202	48.07	167.89	
MT1T	163	71.93	124.54	63.94
MT3T	163	64.98	172.66	
MG1T	176	36.01	97.82	69.73
MG3T	176	11.93	99.53	
IS1T	181	72.32	89.21	57.71
IS2T	181	54.61	177.04	
IS3T	181	98.41	159.18	
MI1T	181	102.7	84.41	57.71
MI2T	181	44.01	74.29	
MI3T	181	3.82	41.23	
SS1T	12	14.48	19.46	25.00
SS2T	12	16.95	16.51	
SS3T	15	13.06	12.95	

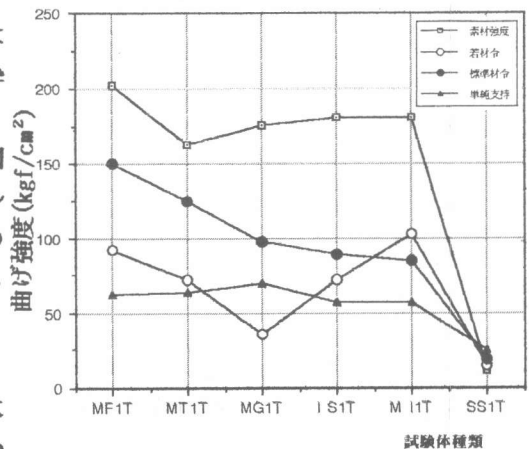


図8 各種1T試験体と曲げ強度の関係

3) たわみ

図10は若材令・標準材令の各種試験体と最大荷重時の部材回転角の関係を示した。この図からスラブ厚の影響は若干見られるが、若材令の

MF1T, MG1T を除けば標準材令, 型枠材の断面形状等に関係なく, 最大荷重時の部材回転角はほぼ0.002程度であった。このことからMF型が他の試験体より変形量が小さいのは一体性が小さいからと考えられる。ただし, 部材回転角は最大荷重時の中央たわみ量 δ_{max} を $L/2$ で割ったものとする。

4) 面内力

面内力 N は鋼製拘束フレーム中央の左右上下に貼った S.G の平均値 ϵ に鉄骨の断面積 A_s とヤング係数 E_s を掛ければ求まる。さらに試験体の断面積 A_c とモルタル強度 F_c の影響を除くため N をそれらで割って無次元化 ($N/A_c F_c$) して, 各種試験体による比較検討のため若材令 \square と標準材令 \blacksquare に分けて図11に表した。図11は最大荷重時の無次元化された面内力である。

図から最大荷重時の面内力は若材令から標準

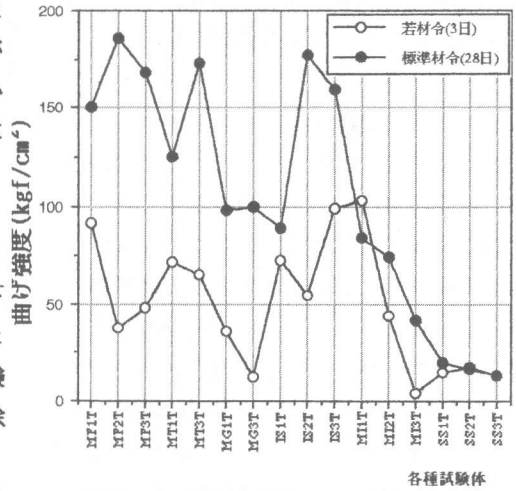


図9 各種試験体とスラブ厚による曲げ強度の関係

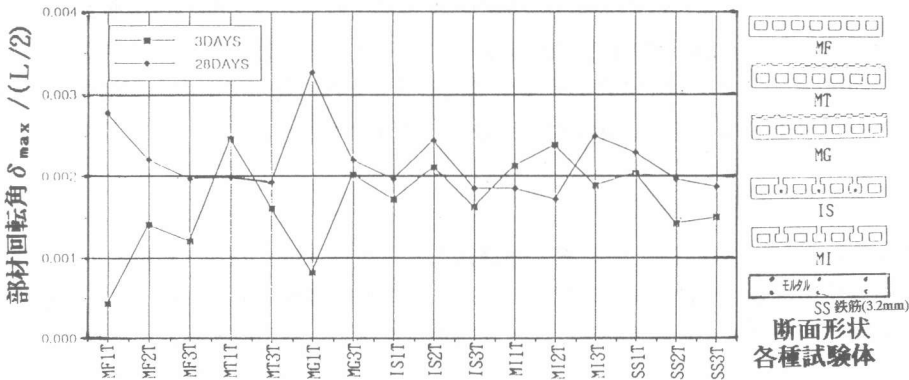


図10 各種試験体と部材回転角の関係

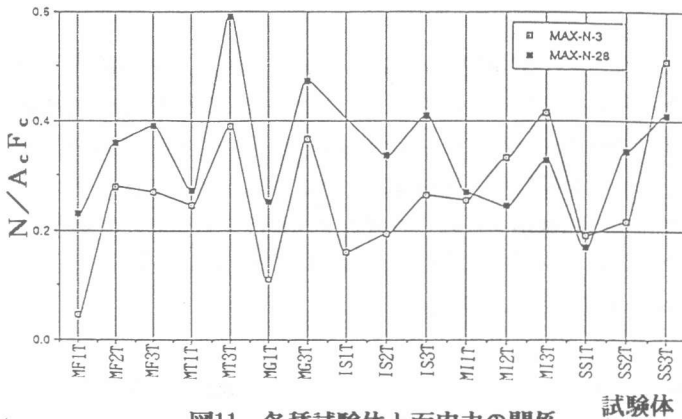


図11 各種試験体と面内力の関係

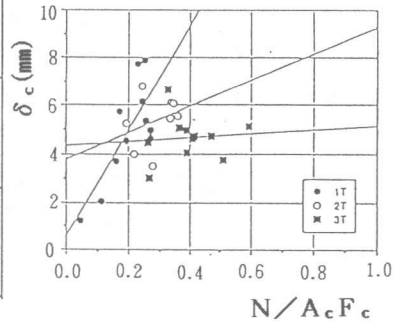


図12 面内力とたわみの関係

材令にかけて型枠材およびスラブ厚にかかわらず増加する傾向を示した。これはモルタル打ち込み時から経時変化によるモルタルの硬化が影響していると考えられる。さらに型枠材種ごとのモルタル厚による面内力の比較を行うとスラブ厚が厚い程面内力は増加する傾向を示した。これはスラブ厚が面内力の発生に大きい影響力を持つことを示している。各種型枠材間の同スラブ厚ごとの比較では、若材令でMT型、MG、IS型が、標準材令でMT型・MI型が大きくなっている。そのことからMT型の型枠材が非常に効果的であることがわかった。

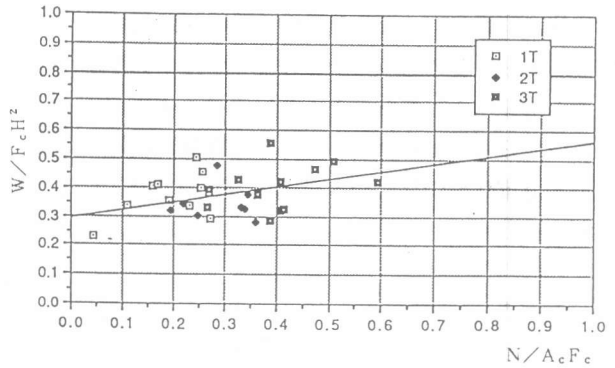


図13 面内力と耐力の関係

5) 面内圧縮力・たわみ・耐力の関係

図12、図13は面内力-たわみおよび面内力-耐力の関係を表したものである。図12から、全体的な傾向であるが面内力が増加すればたわみ量の増加する傾向を示した。その傾向はスラブ厚が厚ければ厚いほど顕著である。その原因はスラブ厚 T が厚いと中央たわみの増加に伴う面内力の発生が大きいからである。また、図13から、面内力が増加すればスラブ耐力も増加する傾向を示している。これは面内力が増加すれば、面内力によるモーメントが付加するためである。

以上をまとめると、スラブの中央たわみ量が増加するとそれに伴って面内力が増加し、それによる付加モーメントによって耐力が増加につながることがわかった。

§ 5 結び

高曲げ強度を持つ型枠材は合板型枠に替わる構法として注目されている。そのメリット性は非常に高く、支保工の削除、型枠大工の不足解消、施工の自動化等が可能になり、施工の省力化・合理化に大いに役立つと考えられている。特に、現場に週休2日制を導入するためには型枠材を用いた合成スラブを若材令で作業可能な状況にすることが非常に重要な条件となる。

以上述べたことを可能にするためには、型枠材とコンクリートが若材令で一体化することが必要であり、型枠材の表面形状・コンクリート厚および荷重変形特性等の性質を知ることが非常に大事となる。

本論文では、これらの基礎資料を得るために小型模型実験を行ったものである。その結果、型枠材の表面形状には上に凸なMT型や下に凹なMI型のようなものがモルタルと一体性に優れた効果を示すことがわかった。モルタル厚は型枠材の曲げ強度からわかるように厚いと引張材の働きをするため、薄い方が型枠材の曲げ材としての力学特性を充分発揮させることができる。中実スラブとの比較では型枠材を使った合成スラブは同等かそれ以上の荷重変形特性をもつことがわかった。これらのことから、型枠材を用いた合成スラブは凸凹型の表面形状であれば、中実スラブより荷重変形特性に優れ、若材令で一体性可能であると考える。

参考文献

- 1) 自動化適合型鉄筋コンクリート構法の開発(36)-床構法の開発-その7 面内力を受ける打ち込み型枠材のモデル実験, 日本建築学会大会学術梗概集, 1993年9月, 森村・在永・馬場