

論文 打込型枠を用いた若材齢スラブの自己ひずみに関する実験的研究

大久保孝昭*1・眞方山美穂*2・馬場明生*3・緒方昌博*4

要旨：本研究は打込型枠を用いた床スラブについて、若材齢時におけるコンクリートと打込型枠との相対ムーブメントに伴う変形や応力状態を把握するために行った。床スラブにおける若材齢時のたわみの経時変化は打込型枠とコンクリートとの相対ムーブメントに伴う反りが大きく影響している。このムーブメントにより生じる部材内部の応力状態は、コンクリートの初期ひび割れ発生や施工荷重に対する安全性に影響を与える。

キーワード：打込型枠、コンクリート、床部材、自己ひずみ、たわみ、曲率

1. はじめに

本研究は建築工事の省力化・合理化を達成するために、打込型枠を使用した建築構工法の開発を目的とした建設省総プロ「建設事業における施工新技術の開発」の研究の一環として行ったものである。打込型枠の使用は柱、梁および床などの主要な建築部材の構工法の合理化を達成できる。特に高曲げ比強度の打込型枠を用いた床構法の開発は無支保工法の達成や若材齢時の施工荷重の載荷を可能とし建築工事の合理化に寄与できる重要な課題である。床スラブに使用するコンクリートは打設直後から一面乾燥状態にあり、これに伴う乾燥収縮が打込型枠との一体性や床スラブの変形状態等に及ぼす影響を把握することは部材の耐久性を高めるために必要不可欠である。

本論文は打込型枠を用いた床スラブについて、若材齢時におけるコンクリートと打込型枠との相対ムーブメントに伴う変形や応力状態を把握するために行った基礎的な研究である。ここでは実大部材とはほぼ同等の断面を有する大型試験体を用いた実験ならびに若材齢スラブの変形状態や応力状態に及ぼす相対ムーブメントの影響を明確にするために小型試験体を用いた実験の結果を示している。

2. 実験概要

2.1 試験体

本研究に用いた試験体は、図1に示すような床スラブを対象とした打込型枠とコンクリートとの2層からなる積層複合試験体である。試験体は実際の床スラブの施工を想定し、散水によるプレウェッチングを施した打込型枠の上面にコンクリートを打設して作製した。試験体成形のための仮設の側型枠（合板製せき板）はコンクリート打設後1日で脱型した。なお比較のため、コンクリート単体の試験体も併せて作製している。また、本実験は若材齢床スラブの自己ひずみに伴う変形状態を明らかにすることを目的とした基礎研究であるため、コンクリート部分の配筋は行っていない。

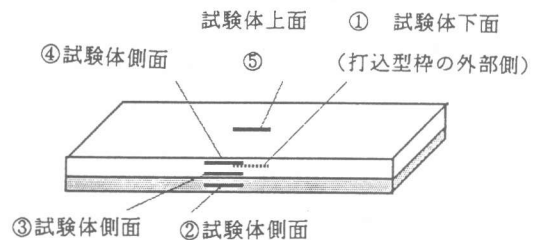


図1 試験体形状

試験体を構成する打込型枠およびコンクリートの物性等をそれぞれ表1および表2に示してい

*1建設省建築研究所第四研究部 主任研究員・工博（正会員） *2 同 研究員・工修（正会員）

*3 同 施工管理研究官・工博（正会員） *4 鉄建建設 技術研究所 研究員（正会員）

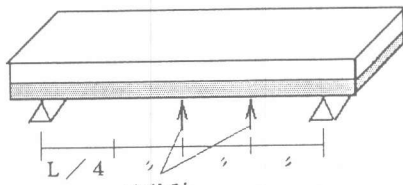
る。打込型枠は4種類の無機系押し出し成形パネルで、いずれも高曲げ比強度の母材からなる中空断面部材で、コンクリートと接する表面にはすべて裏足付きの形状である。コンクリートは設計基準強度が210kgf/cm²、目標スランプが18cmの普通コンクリートとした。

2.2 実験概要

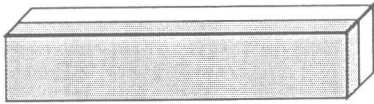
1) 試験体の支持方法

試験体は図2(a),(b)に示すように、二点支持および面支持の2種類の方法で支持して実験を行った。図2(a)の試験体は実際の床スラブの施工を想定し、はじめから二点支持した打込型枠の上面にコンクリートを打設し、その支持状態を継続して実験に供した。この二点支持とは鋼製の三角形アングル上に試験体載っている状態であり単純支持状態に近い。実際の構造物においては、梁や柱が床スラブの自己ひずみを拘束するが、本実験は単純支持で実験を行った。図2(b)に示す面支持の試験体は二点支持状態の試験体に対して、自重によるたわみの影響を取り除き、試験体の自己ひずみのみによる変形を検討するためのもので、テフロンシート(2mm厚)の上に静置した状態で測定を行った。

各実験条件等を表3に一括して示している。同表に示すように本研究では実大レベルに近い断面の試験体(以後、大型試験体と記す)と比較的小型の試験体(同、小型試験体)を用いている。大型試験体に関しては、大梁と小梁間を想定し3mのスペンで支持し、断面厚および打込型枠とコンクリートとの構成割合もほぼ実大に近いものとしている。



(a) 二点支持



(b) 面支持

図2 試験体の支持状態

2) 試験体ひずみおよびたわみの測定

二点支持した試験体はひずみおよびたわみ、面支持の試験体はひずみの測定を行った。試験体のひずみ変化はメタルベースの電気抵抗線ひずみゲージにより先の図1中の丸囲みの数字に示す位置で測定した。たわみはスペン中央部と1/4の点の2箇所において変位計により測定した(図2(a))。なお、コンクリートのひずみ測定はゲージの張付けが可能

表3 実験条件及び試験体

記号	寸法 cm			支持条件	スパン cm	使用型枠
	幅	長さ	厚さ			
A	60	350	17.5	二点	300	①-1
B	59	350	16.0	二点	300	②-1
C	20	120	10.0	二点	100	①-2
				面	-	
D	20	120	10.0	二点	100	②-2
				面	-	
E	20	120	10.0	二点	100	-
				面	-	

となってから行ったため、打込型枠のひずみ測定よりも遅れて開始した。

3. 実験結果および考察

3. 1 実大レベル試験体の実験結果

1) ひずみ性状

大型試験体 A, B の試験体上面および下面（図 1：型枠表面①およびコンクリート表面⑤の位置）のひずみの経時変化を図 3 (a), (b) に示す。同図において、型枠表面のひずみはコンクリート打設後 3 時間、コンクリートの表面ひずみは打設後 7 日を基長（試験体の初期ひずみ 0）として示している。いずれの試験体においても型枠表面には打設後 15 日程度までは急激に伸びひずみが生じている。この伸びは打込型枠自身がコンクリートから自由水を吸水し膨張することとコンクリートの初期乾燥収縮による試験体全体の反りとの複合作用によるためと考えられる。この間のコンクリートのひずみは測定してはいないが、ひずみの基長とした材齢 7 日の時点では、コンクリートには乾燥開始時に比べるとかなり大きな収縮ひずみが生じていると考えられる。以上のように、打込型枠を用いた若材齢スラブにおいては、自己ひずみによりスラブ上面（コンクリート表面）には収縮ひずみ、スラブ下面（打込型枠表面）には伸びひずみが生じようとする。このときの応力状態は図 4 に示すように、収縮側のスラブ上面は内部に拘束されて引張応力、逆にスラブ下面は圧縮応力が作用している。この応力状態は、スラブ上面（コンクリート表面）の初期ひび割れ発生には不利であり、また、実際の周辺固定の若材齢スラブ上での施工荷重に対しては、スラブ中央部では有利、スラブ周辺部では不利に作用すると言える。

なお図 3 (a), (b) において、打込型枠表面の最大の伸びひずみは、試験体 A は材齢 20 日に約 200μ 、試験体 B は材齢約 15 日に最大値 130μ の値を示している。この差は打込型枠自体の物性の違いのほか、打込型枠 A の方が断面積が大きいため、試験体断面内のひずみ差が大きく、型枠の吸水量の絶対値が多くなっていることも影響している。

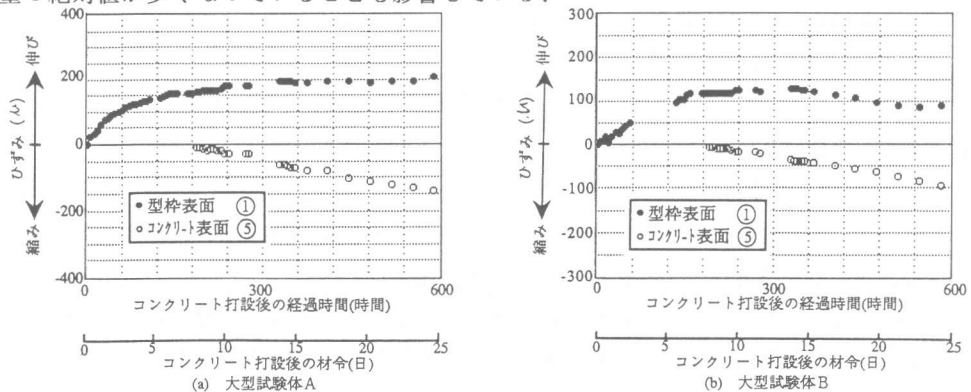


図 3 大型試験体のひずみの経時変化

図 3 (a), (b) に示した各ひずみに関して、打設後材齢 7 日を基長としたときのひずみ変化を図 5 (a), (b) に示した。いずれの試験体とも型枠表面のひずみは緩やかに変化し、試験体 B の打込型枠はひずみが収縮側に漸減する傾向を示している。これは打込型枠が吸水した水分を放水して収縮するが大きくなったためと考えられる。

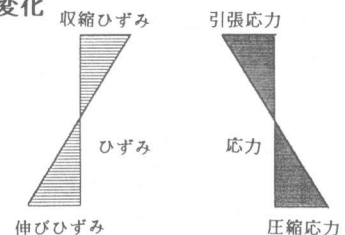


図 4 試験体断面の応力状態

2) たわみ性状

図6(a), (b)には試験体A, Bの材齢7日以降のたわみの経時変化を示した。材齢7日以降試験体A, Bともにたわみは増加し、材齢20日以降はその増加の割合が緩やかになっている。本実験材齢の範囲においてたわみの最大値は試験体Aが約1.4 mm, Bが1.1 mm程度の値を示した。

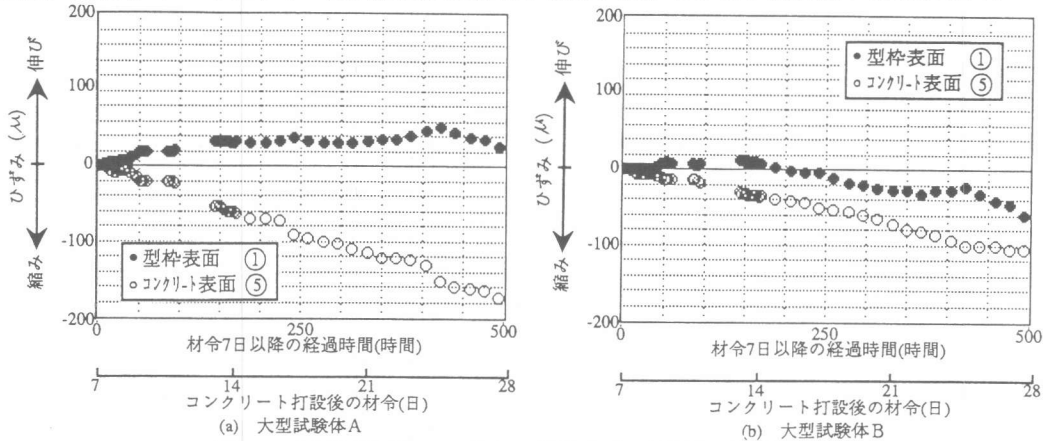


図5 大型試験体のひずみの経時変化 (基長: 材齢7日)

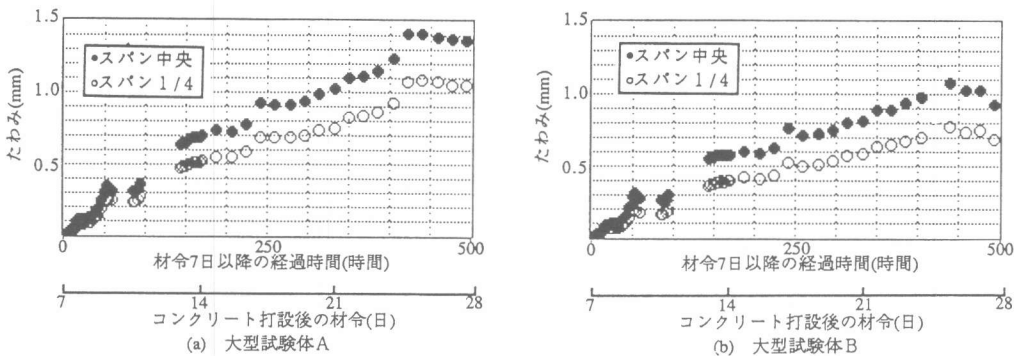


図6 大型試験体のたわみの経時変化 (基長: 材齢7日)

3. 2 小型試験体の実験結果

1) 支持方法とひずみ性状

図7(a), (b)は小型試験体Dの試験体上下面のひずみの経時変化を示す。同図(a)は二点支持(先の図2(a)の支持方法), 同図(b)は面支持(図2(b))した試験体である。これらのひずみ変化はほぼ一致しており、試験体のひずみの変化には支持方法がほとんど影響しないことが分かる。即ち、小型試験体に関して、初期材齢のひずみ変化は試験体の乾燥収縮に支配されることが明かである。

図8(a), (b)は試験体C, Dについて、試験体上下面のひずみ差から(1)式で算定した曲率 ρ の経時変化を示す。

$$\rho = \Delta \varepsilon / H \quad (1)$$

$\Delta \varepsilon$: 試験体上下面のひずみ差

H: 試験体の厚さ

各図において、●は二点支持、○は面支持の試験体の曲率の経時変化を示している。試験体C

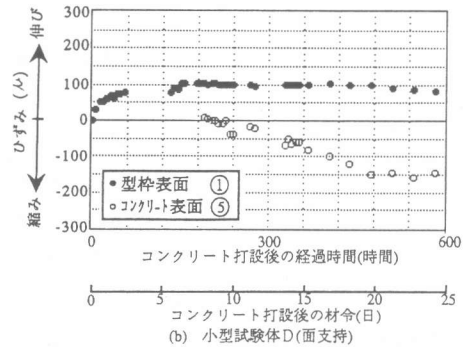
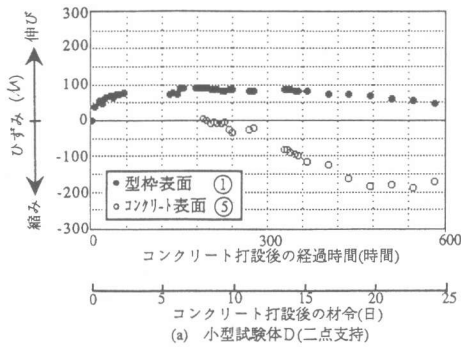


図7 小型試験体Dのひずみの経時変化(基長:材齢7日)

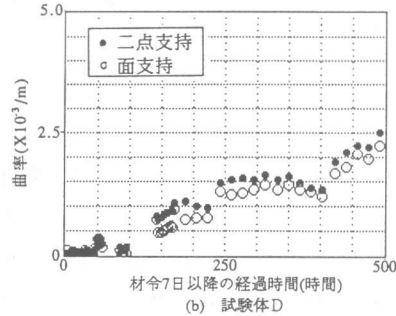
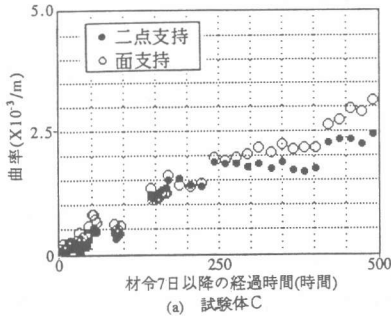


図8 小型試験体の曲率の経時変化(基準:材齢7日)

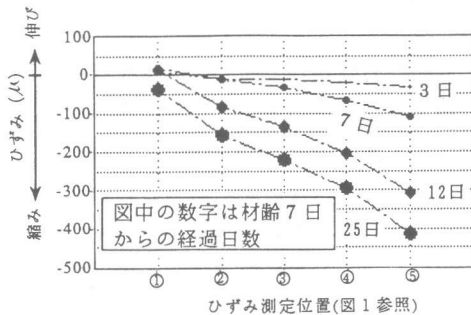


図9 小型試験体Cのひずみ分布(基長:材齢7日)

では材齢20日, 試験体Dでは材齢25日まで両者の値はほぼ一致しており支持方法の影響は認められない. 図9には, 試験体断面のひずみ分布の例として, 試験体Cのひずみ分布を示している(基長は材齢7日). 断面内のひずみはほぼ直線的に分布しており, コンクリートと打込型枠の一体性が十分に確保されていると考えられる.

2) たわみ性状

小型試験体C, DおよびEのたわみの経時変化を図10に示す. 試験体Eはコンクリート単体の試験体である. 打込型枠とコンクリートとの複合試験体C, Dはたわみが増加しているが, コンクリ

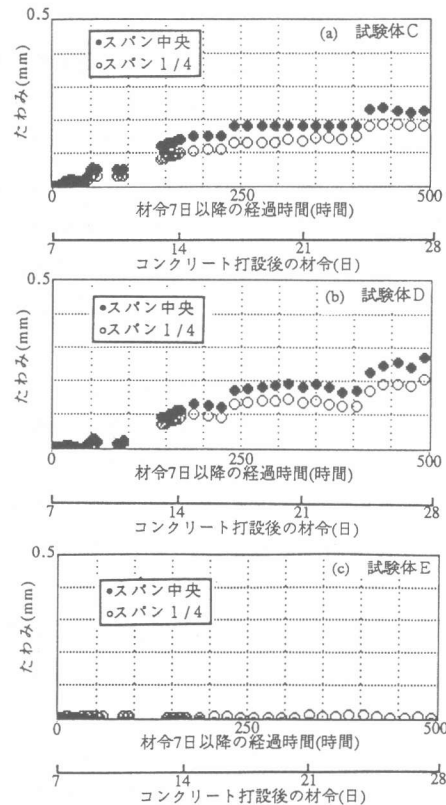


図10 小型試験体のたわみの経時変化(基長:材齢7日)

ート単体の試験体Eのたわみはほとんど増加していない。コンクリート試験体では試験体の上下面から同時に乾燥が進行するため上下面のひずみ差がなく、曲率が生じないのでたわみが増加しない。

3.3 乾燥収縮ひずみによるたわみの算定

前節までの実験結果に示したように、二点支持した複合試験体の若材齢時のたわみの増加は試験体を構成するコンクリートと打込型枠の相対ひずみに起因する反りのためと考えられる。二点支持試験体のスパン中央部のたわみ δ は試験体の曲率 ρ およびスパン L から(2)式によって求められる。

$$\delta = \rho - \sqrt{\rho^2 - (L/2)^2} \quad (2)$$

(2)式において、曲率 ρ を面支持の試験体のひずみから(1)式によって求めた値を代入して算定した δ と二点支持した試験体のたわみの実験結果を図11で比較した。同図は試験体Dのたわみを推定したものであり、図中●は実験結果、実線は算定結果を表している。同図から、二点支持した試験体のたわみの増加は、面支持した試験体の曲率から算定した反り変形の変化と一致することが分かる。二点支持した試験体のたわみの経時変化は、コンクリートと打込型枠との自己ひずみ差に起因することがこの結果から明かである。

以上のように、若材齢における二点支持部材のたわみの経時変化は、面支持の試験体のひずみから推定することができる。ただし、本実験以上に支持スパンが長い場合や長期材齢では自重による曲げクリープの影響が大きくなると考えられこの手法の適用できる範囲は限定される。

大型試験体に関して考察すると、先の図6(a), (b)に示した各試験体のたわみの経時変化はそれぞれの試験体上下面のひずみ差(図5(a), (b)における●と○の差)の変化の傾向と一致している。このことは実大レベルの床スラブにおいても若材齢時のたわみは自己ひずみに伴う反りが大きく影響していることを示すものである。

4. まとめ

本論文では打込型枠を用いた床スラブについて、若材齢時におけるコンクリートと打込型枠との相対ムーブメントに伴う変形や応力状態を把握するために基礎的な検討を行った。床スラブにおける若材齢時のたわみの経時変化は打込型枠とコンクリートとの相対ひずみ差に伴う反りが大きく影響していることを明らかにした。またこのひずみ差により生じる部材内部の応力状態は、コンクリートの初期ひび割れ発生には不利であり、施工荷重に対してはスラブ中央部では有利となるものの、周辺部では不利側に作用すると考えられる。

謝辞：建設省総プロ「建設事業における施工新技術の開発」の型枠新材料評価WGの委員の方々には多大のご協力をいただいた。末尾ながら深く謝意を表します。

参考文献

- [1] T. WATANABE, A. BABA AND T. OHKUBO "A METHOD FOR APPROXIMATING MOISTURE AND THERMAL MOVEMENTS OF CONCRETE COMPOSITE WITH CASTING FORM", STRATEGIES AND TECHNOLOGIES FOR MAINTENANCE AND MODERNIZATION OF BUILDING, CIB W70, 1994. 10

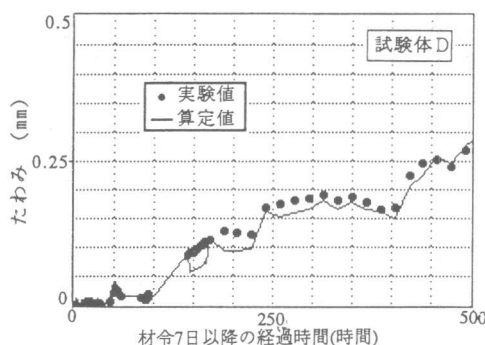


図11 小型試験体Dのたわみの経時変化の実験値と算定値の比較