

論文 鉄筋コンクリート造2方向スラブの長期変形性状に関する実験的研究

山本 俊彦*

要旨：本研究では、鉄筋コンクリート造2方向スラブの長期的な変形性状に関する実験を行い、その特性の把握を試みた。試験体は、実大規模の鉄筋コンクリート造2方向スラブとした。実験は、鉄筋コンクリート構造物の施工時に受ける荷重を履歴させ、最終的に材齢2779日まで行った。実験の結果、実大2方向スラブのたわみは長期的に増大し、中央たわみが20mm以上、スパンに対して1/200程度に達した。固有振動数は、材齢の進行と共に低下し、弾性計算値の75%程度となった。鉄筋コンクリート造2方向スラブは長期的に大きな性状の変化が見られた。

キーワード：スラブ、長期変形、鉄筋コンクリート、クリープ、乾燥収縮

1. はじめに

鉄筋コンクリート造スラブは、通常、コンクリートが設計基準強度に達する前に自重のほぼ2倍にも達するきわめて大きな施工荷重を受け [1] ~ [3]、また、長期的にはクリープや乾燥収縮によるひび割れの発生などにより、その特性に大きな影響を受ける。しかし、これらの影響については十分解明されているとは言えず、設計段階での正確な予測を困難にしている。これまで、鉄筋コンクリート造スラブの長期変形性状については、1方向スラブについてはいくつかの実験 [4] ~ [7] が行われているが、2方向スラブについての実験はきわめて少ない [8, 9]。このため本実験は、これまで行われてきた1方向スラブ実験結果に加えて、2方向スラブの長期たわみ性状を検討するために行ったものである。本実験では、かなり過酷な荷重条件を設定し、若材齢時からの載荷を行った。なお、若材齢時載荷の影響については、1方向スラブ実験で既に検討されており、ごく早期での損傷の発生の防止が重要であることが示されている [10]。

2. 実験方法

2.1 試験体

試験体を図-1、図-2に示す。試験体は全部で2体で、試験体Aは梁で支持された2方向スラブ、試験体Bは、周辺を壁で支持された2方向スラブであ

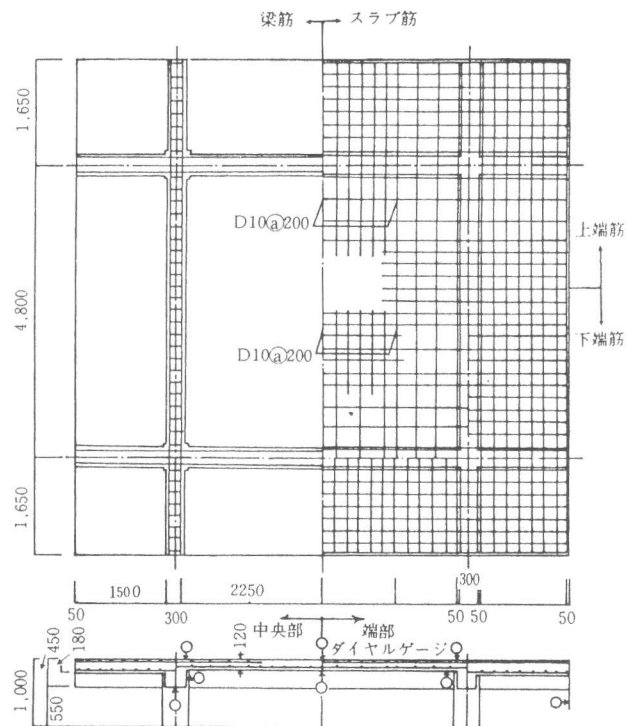


図-1 試験体 A

*大同工業大学教授、工学部建設工学科、工博（正会員）

る。試験体 A、B の内法有効スパンは 4.5m、辺長比は 1.0、またスラブ厚は 12cm でスパン板厚比は 37.5 となる。

2.2 使用材料

表-1 に鉄筋の機械的性質を、表-2 にコンクリートの調合を示す。コンクリートの各材令での強度、および弾性係数を表-3 に示す。材令 2 日でのコンクリートの圧縮強度は、6.80MPa、材令 28 日では 24.9MPa であった。

2.3 荷重条件

試験体にかかる荷重条件を図-3 に示す。施工時でのかなり過酷な荷条件重を想定し、各試験体ともコンクリート打設後 2 日で支柱を解体し、同時に施工荷重を作用させた。施工荷重は、支柱にかかる荷重の測定データ [1] ~ [3] を参考にして、 $2.0 \times \text{自重} = 2.82\text{KPa}$ をスラブに負担させた。材令 2 日でのコンクリートの圧縮強度は 4 週強度に比して 27% であった。この施工荷重を材令 14 日まで載荷し、その後の持続荷重は自重の $1/2 = 1.41\text{KPa}$ とした。なお、載荷はコンクリートブロックを用いて等分布荷重となるように行った。また、クリープ試験は材令 3 日で 6.0MPa を載荷した。

2.4 試験体の弾性的な性質

表-4 に FEM により計算した各試験体の弾性的な性質を示す。最大荷重時のたわみは、試験体 A で 2.58mm、B で 1.82mm である。また、最大曲げ応力はそれぞれ 2.02MPa、2.35MPa、持続荷重時での固有振動数は 18.1Hz および 22.8Hz である。

2.5 測定概要

測定は、スラブたわみ、固有振動数、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮について行った。スラブの固有振動数は、12.3kg の砂袋をスラブ中央へ落下させ、換振器に

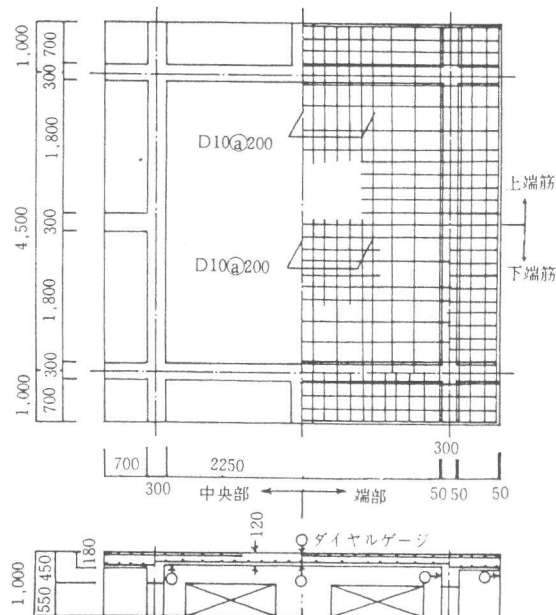


図-2 試験体 B

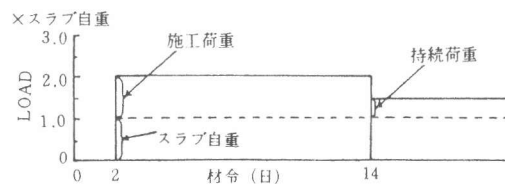


図-3 荷重条件

表-1 鉄筋の機械的性質

呼び名	降伏点(MPa)	引張強度(MPa)
D10	396	568
D19	338	501

表-2 コンクリートの配合

セメント (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	W/C (%)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	スラブ (cm)
308	180	58.5	854	952	18

表-3 コンクリートの性質

材令 (日)	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
1	5.28	0.60	1.20	11.1
2	6.80	1.05	1.92	12.1
3	12.2	1.21	1.62	16.8
7	15.7	1.47	2.95	18.5
14	20.7	-	-	21.2
28	24.9	2.81	4.28	19.2
91	28.3	-	4.54	21.7

表-4 試験体の弾性的な性質

試験体	中央たわみ(mm)			最大曲げ応力		固有振動数(Hz)		
	自重*	施工荷重*	持続荷重**	引張(MPa)	圧縮(MPa)	自重*	施工荷重*	持続荷重**
A	1.29	2.58	1.10	2.02	2.65	16.6	11.9	18.1
A***	0.98	1.96	0.84	2.02	2.65	-	-	-
B	0.91	1.82	0.78	2.35	2.39	21.1	14.9	22.8

*E=1.21GPa、**E=2.12GPa、***梁の値を引き算したもの

より各材令で測定した。クリープ試験は10φ×20cm 供試体を用い、同時に10φ×20cm 供試体により乾燥収縮を測定した。スラブの乾燥収縮は、スラブを模した40×40×12cm 供試体により行った。これらの測定は、コンタクトゲージにより行った。

2.6 実験室の温度および湿度

実験は、試験体が大きいため温度および湿度は外気の影響を受ける実験室内で行った。コンクリートの性質に特に影響の大きい打設後最初の8週間の温度は、は19.2℃～22.8℃で平均21.6℃、湿度は、68.5%～85.5%で平均78.2%であった。

3. 実験結果

3.1 クリープおよび乾燥収縮

図-4に材齢385日までのクリープ歪みの変化を示す。材齢385日でのクリープ係数は、乾燥収縮歪みを引き算し、載荷時の弾性歪みを基準にすると3.3となった。

図-5に材齢385日までのスラブ模擬供試体の乾燥収縮歪みの変化を示す。乾燥収縮歪みは、周辺環境の季節的な湿度変化によって増減を伴いながら、増大する傾向を示した。

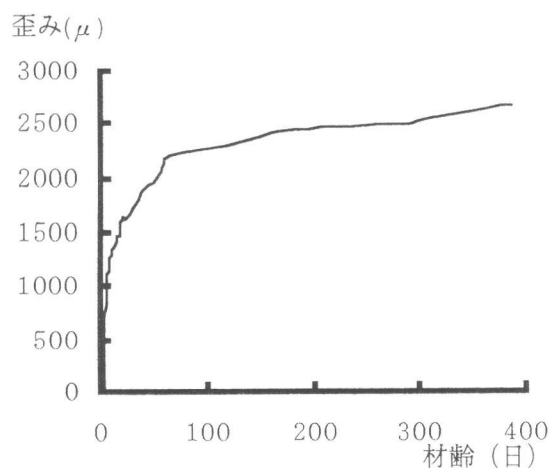


図-4 クリープ歪みの変化

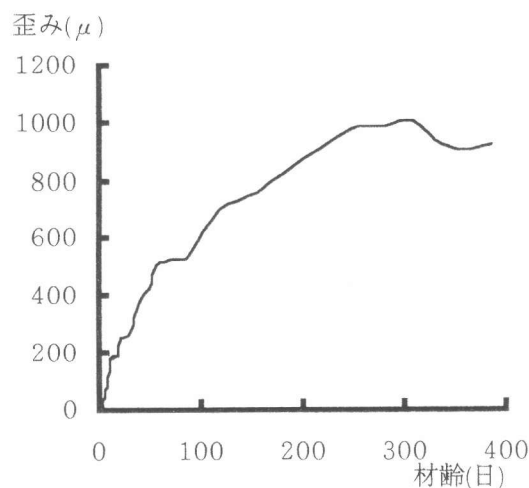


図-5 乾燥収縮歪みの変化

表-5 試験体たわみ(mm)

試験体	材齢(2日)		材齢(14日)		材齢(91日)	材齢(364日)	材齢(2779日)	材齢(2779日)
	自重	施工荷重	施工荷重	持続荷重	持続荷重	持続荷重	持続荷重	自重
A	1.22	2.75	6.14	5.65	8.51	18.83	27.37	26.81
A*	0.98	2.23	4.84	4.47	6.49	15.47	22.56	22.18
B	1.00	2.09	4.45	4.14	6.90	13.78	22.38	21.84

*梁の値を引き算したもの

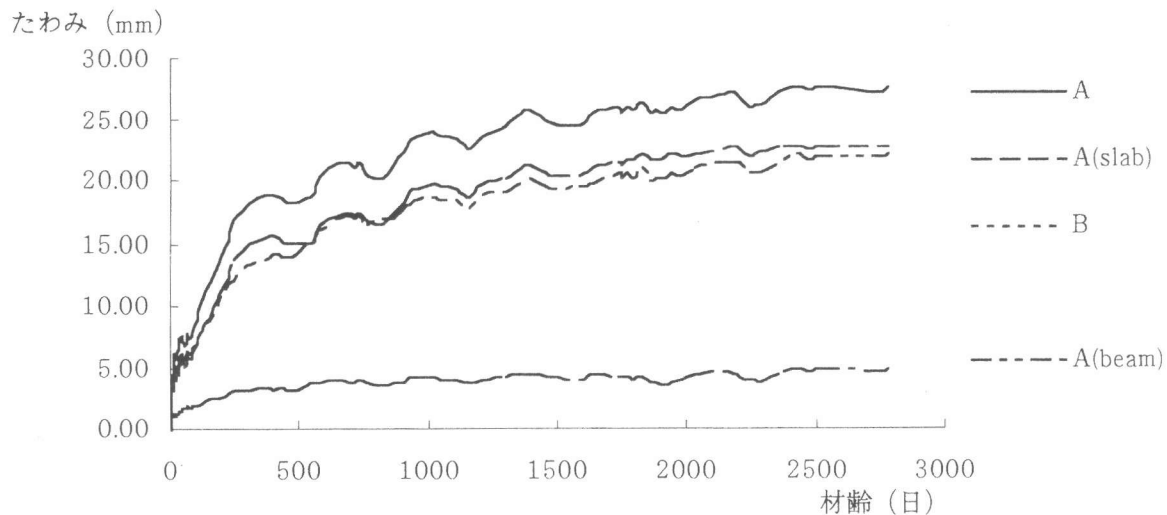


図-6 たわみの変化

表-6 試験体たわみ増大率

試験体	材齢(2日)		材齢(14日)		材齢(91日)	材齢(364日)	材齢(2779日)	材齢(2779日)
	自重	施工荷重	施工荷重	持続荷重	持続荷重	持続荷重	持続荷重	自重
A	1.10	2.49	5.56	5.12	7.71	17.05	24.78	24.28
A*	1.17	2.66	5.77	5.33	7.74	18.44	26.89	26.44
B	1.28	2.68	5.71	5.31	8.86	17.69	28.73	28.04

*梁の値を引き算したもの

3.2 荷重の載荷とたわみの変化

表-5にたわみの一覧を示す。また、図-6に各試験体の長期たわみの変化を示す。長期たわみは、実験室内の温度や湿度の影響を受け、季節的な変動を示しながら、長期的に増大する傾向を示した。たわみの増加は初期に著しく、材齢1年以降はやや緩慢になった。型枠脱型時の自重および施工荷重載荷時のたわみは、弾性たわみ計算値にほぼ等しい値を示した。この時スラブBにのみわずかな曲げひび割れが生じたが、大きな損傷は見られなかった。施工荷重載荷時から14日の施工荷重除荷前までのたわみの増加量は、スラブAで2.61mm（梁中央のたわみを差し引いた値）、スラブBで2.36mmとなった。これは、載荷時の弾性たわみに比して2.13~2.27倍であった。既往の施工時のたわみ量は、弾性たわみ計算値の1.0~2.0倍で[11]、やや大きな値となった。試験体は、その後乾燥収縮の進行に伴いいずれの試験体も多くのひび割れを生じた。

表-6に材齢14日での施工荷重除荷後、持続荷重載荷時の弾性たわみ計算値を1.0としたたわみ増大率を示した。施工荷重除荷時まで5倍前後のたわみが生じた。最終的にスラブAで22.18mm（梁中央のたわみを差し引いた値）、スラブBで21.84mmとなった。弾性計算値に対するたわみの倍率はそれぞれ、24倍、28倍となった。たわみと内法スパンとの比は、スラブAで1/203、スラブBで1/206となった。

表-7 試験体固有振動数(Hz)

試験体	材齢(2日)		材齢(14日)		材齢(91日)	材齢(366日)	材齢(2779日)	材齢(2779日)
	自重	施工荷重	施工荷重	持続荷重	持続荷重	持続荷重	持続荷重	自重
A	18.1	13.1	14.4	16.5	16.9	14.8	13.4	15.9
B	23.1	16.9	19.0	21.6	22.2	19.1	17.3	20.3

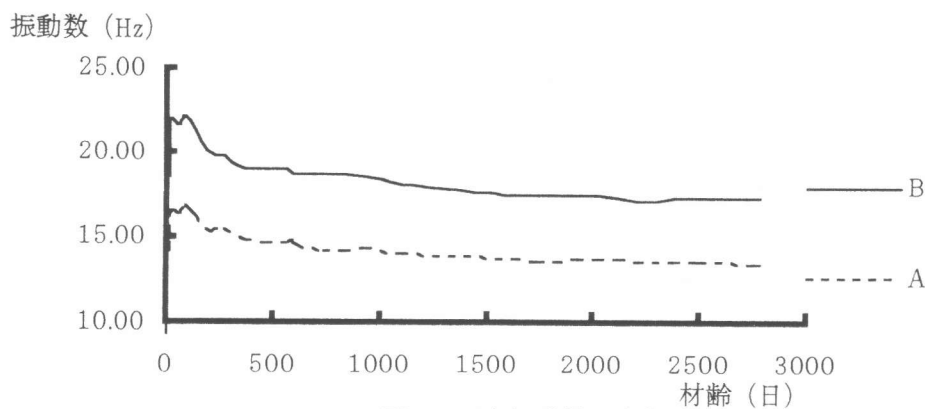


図-7 固有振動数の変化

表-8 固有振動数変化、低下率*

試験体	材齢(2日)		材齢(14日)		材齢(91日)	材齢(366日)	材齢(2779日)	材齢(2779日)
	自重	施工荷重	施工荷重	持続荷重	持続荷重	持続荷重	持続荷重	自重
A	1.09	1.10	0.69	0.91	0.93	0.82	0.74	0.76
B	1.09	1.13	0.72	0.95	0.97	0.84	0.76	0.77

*表-4に示す計算値に対する比

3.3 固有振動数の変化

表-7に各試験体の固有振動数の一覧を、また、図-7に固有振動数の変化を示す。各試験体とも施工荷重が作用すると、その分固有振動数は低くなったが、コンクリートの弾性係数の増加に伴い、次第に増大し材齢91日前後でピークに達した。

表-8に固有振動数の計算値に対する比を示した。初期は計算値に対してやや高い値を示したが、持続荷重下において振動数は徐々に低下した。これは曲げひび割れの発生等による剛性低下によるものと考えられる。材齢91日においてスラブAで16.9Hz、スラブBで22.2Hzで、計算値に対する比はそれぞれ0.93、0.97となった。最終的に材齢2779日では、計算値に対する比がいずれも0.75程度になった。

4. まとめ

鉄筋コンクリート造2方向スラブの材齢2779日までの長期的な変形性状に関する実験から以下のことが明らかになった。

- 1) 長期たわみは、実験室内の温度や湿度の影響を受け、季節的な変動を示しながら、長期的に増大した。たわみの増加は初期に著しく、材齢1年以降はやや緩慢になったが、乾燥収縮によるひび割れの発生やコンクリートのクリープにより引続き増大傾向を示した。
- 2) 最終的なたわみは梁付き2方向スラブで22.18mm（梁中央のたわみを差し引いた値）、スパン比1/203、周辺拘束スラブで21.84mm、同1/206となりかなり大きな値を示した。
- 3) 固有振動数は、コンクリートの弾性係数の増加に伴い、次第に増大し材齢91日前後でピークに達した。その後、持続荷重下において振動数は徐々に低下した。これは曲げひび割れの発生等による剛性低下のためと考えられる。
- 4) 材齢91日においてのスラブの固有振動数の計算値に対する比はそれぞれ0.95程度を示した。最終的に材齢2779日では、その比がいずれも0.75程度に低下した。

謝辞

本研究を発表するにあたり、東急建設技術研究所関係各位に謝意を表します。

参考文献

- [1] Lasisi, Mohammed, Y., and Ng, Simon, F. : Construction Loads imposed on High-Rise Floor Slabs, Concrete International : Design & Construction, Vol.1, NO.2, Feb.1979
- [2] 山本俊彦、高橋勉：スラブ・梁のサポートにかかる荷重の測定、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造系）、昭和 56.9
- [3] 高橋久雄、小柳光生：RCスラブサポートに生ずる荷重について、コンクリート工学、Vol.18No.10、Oct.1980
- [4] 東 洋一、窪田敏行：鉄筋コンクリート帯スラブのたわみとスラブ内の付着について、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造系）、昭和 43.10
- [5] 椎名国雄：RC造スラブの長期たわみにおよぼす乾燥の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造系）、昭和 47.10
- [6] 狩野芳一：長期荷重によるひび割れおよびたわみに及ぼすひびわれの影響、コンクリート工学、Vol.11、No.9、Sept.1973
- [7] 東 洋一、小森清司：鉄筋コンクリート帯スラブの長期たわみに関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造系）、昭和 50.10
- [8] 佐々木晴夫、多勢 裕、和泉意登志、倉林 清：型枠支保工の存置期間に関する研究—その10・実大規模スラブの長期たわみ実験・I—、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造系）、昭和 58.9
- [9] 高田博尾、野中 稔、松尾 忠、富岡寿男：型枠支保工の存置期間に関する研究—その11・実大規模スラブの長期たわみ実験・II—、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造系）、昭和 58.9
- [10] 山本俊彦：載荷材令の異なる一方向スラブの長期たわみ実験、コンクリート工学年次講演会論文集、No.5、1983.
- [11] 山本俊彦：鉄筋コンクリート構造物の施工荷重に及ぼすクリープおよび温度等の影響、日本建築学会構造系論文報告集、第 395 号、昭和 64.1
- [12] 山本俊彦：鉄筋コンクリート造スラブの長期な振動特性、コンクリート工学年次講演会論文集、NO.6、1984.