

構造用超軽量コンクリートの開発（その2） ークリープ及び長期たわみ性状ー

Development of Super Light-Weight Concrete for Structures (Part 2) - Creep and Long-term Deflections -

稲 葉 洋 平
閑 田 徹 志
桜 本 文 敏

要 約

構造用超軽量コンクリートとは、比重が普通コンクリートの1/2程度で圧縮強度30N/mm²超の新材料である。この材料を床部材に適用した場合の長期たわみ性状を検討するため、長期たわみ実験及び長期たわみを予測するためのクリープ実験を行った。実験の結果、超軽量コンクリートは普通コンクリートに比べ、初期たわみが大きい、経時によるたわみの増進は小さく、1年経過時点における長期たわみは普通コンクリートと同程度であること、長期たわみはクリープ係数、収縮ひずみのデータから予測可能であることが分かった。

目 次

- I. はじめに
- II. クリープ実験
- III. 長期たわみ実験
- IV. 長期たわみの予測
- V. まとめ

I. はじめに

構造用超軽量コンクリート（以下、超軽量コンクリートと称す）とは、普通コンクリートのおよそ1/2の比重でありながら、圧縮強度30N/mm²以上が得られるコンクリートである。この超軽量コンクリートを建築構造部材に使用することによって、構造物が軽量化され、構造躯体量を低減できる可能性がある。現在、超軽量コンクリートを部材の中でも大きな割合を占める床部材に適用することで、建築物の軽量化を効果的に達成することを検討している。しかしながら、超軽量コンクリートは弾性係数が普通コンクリートの約1/2であるため変形しやすく、クリープや長期たわみが問題となる可能性がある。特に床部材の設計では長期たわみによって断面形状が決定される場合が多く、超軽量コンクリートの長期たわみ性状を把握することが重要となる。そこで本報では、はり試験体の長期たわみ実験と長期たわみを解析するためのクリープ実験を行い、超軽量コンクリートの長期たわみ性状を把握したので報告する。

II. クリープ試験

1. 実験の目的

一般的に長期たわみに影響を与える主な要因は、ひび割れの有無、収縮ひずみ量及びクリープひずみ量の3つであるといわれており¹⁾、長期たわみを算定するためにはこれら3つの要因を検討しておく必要がある。ひび割れの有無については、長期たわみを安全側に評価するため、ひび割れが生じるものと仮定し、超軽量コンクリート特有の性質である収縮及びクリープ性状については実験を行い検討することとした。

2. 実験概要

超軽量コンクリートのクリープ及び収縮性状を把握するため、クリープ試験及び収縮ひずみ試験を行い、普通・軽量1種コンクリートと比較検討する。試験体リストを一覧にして Table 1 に示す。同表に示すように、実験要因はコンクリート種類、養生方法の2要因とし、コンクリート種類は超軽量、普通、軽量1種コンクリートの3水準、養生方法は密封、気中の2水準とした。ここで、密封とは試験体の周囲に銅板を巻いて乾燥を防止した養生条件を表しており、気中とはこの処理を行っていない養生条件を表す。なお、試験は温度20℃、相対湿度60%の実験室で行った。

使用したコンクリートの調査及び強度試験結果を Table 2 に、使用骨材の性質を Table 3 に示す。試験体はすべて10φ×20cmの軽量モールドにコンクリートを詰めて成形している。計測項目は、クリープひずみ及び収縮ひずみであり、計測期間を1年とした。クリ

Table1 試験体リスト
(List of Specimen)

試験体名	実験要因	
	コンクリート種類	養生方法
超軽量-密封	超軽量コンクリート	密封
超軽量-気中		気中
普通-密封	普通コンクリート	密封
普通-気中		気中
軽量1種-密封	軽量1種コンクリート	密封
軽量1種-気中		気中

Table 2 調査、強度、載荷材令
(Mixing, Compressive Strength, Age on Loading)

試験体名	調合表				材料特性(28日)			載荷材令 (日)
	単位量(kg/m ³)				比重	圧縮強度 N/mm ²	弾性係数 ×10 ⁴ N/mm ²	
	水	セメント	細骨材	粗骨材				
超軽量 - 密封	175	500	237	299	1.20	28.0	1.11	30
超軽量 - 気中					1.18	27.7	1.01	
普通 - 密封					2.34	38.3	3.22	
普通 - 気中					2.29	36.0	2.80	
軽量1種 - 密封	170	310	851	598	1.96	31.2	1.96	43
軽量1種 - 気中					1.81	31.7	1.83	

キーワード：超軽量コンクリート、長期たわみ、クリープ、乾燥収縮

ープひずみとは持続応力を受けることによって徐々に進行するひずみであり、持続応力によらないひずみ（弾性ひずみ、乾燥収縮ひずみ、自己収縮ひずみなど）とは区別する必要がある。そのため、無載荷状態の試験体をクリープ試験体と同じ環境下におき、収縮ひずみの計測を行った。この収縮ひずみには乾燥収縮ひずみ及び自己収縮ひずみが含まれていると考えられる。試験体数は各条件につきクリープ試験2体、収縮ひずみ試験3体とし、これらの平均で実験値を代表した。

3. 実験方法

Fig.1 にクリープ試験機の概略図を示す。試験体は直列に四つなぎ、上二つを密封養生の試験体、下二つを気中養生の試験体とした。これらの試験体は油圧ジャッキにより載荷され、その荷重はロードセルにより測定される。ひずみ測定には変位計（精度 10×10^{-6} 以上）を用い、偏心をチェックするため1条件につき円周方向に3本を配した。荷重はロードセルの出力値をもとにコンピュータが一定に制御し、データは1日間隔で自動計測される。載荷荷重は28日圧縮強度の30%とし、圧縮強度試験後に載荷荷重を決定し載荷を行った。載荷材齢は Table 2 に示すように超軽量コンクリートが打設後30日、普通・軽量1種コンクリートが打設後43日であった。普通・軽量1種コンクリートは載荷時期が超軽量コンクリートより遅れており、その間もコンクリート強度が増進することから、同時期に載荷した場合に比べクリープが小さくなることも考えられるが、超軽量コンクリートとの比較を行う上では問題がないと判断した。

収縮ひずみ（以下、無載荷収縮ひずみと呼ぶ）試験では、標準的な試験法（JIS A 1129）で用いられる試験体形状（ $10 \times 10 \times 40$ cm）ではなく、 $10 \phi \times 20$ cm のシリンダーを用いた。これは、クリープ試験と無載荷収縮ひずみ試験で用いる試験体を同一形状とし、収縮がクリープに与える影響を直接的に評価するためである。計測にはコンタクトゲージを用い、試験体表面に貼布したチップの間隔を計測することにより収縮ひずみを求めている。

4. 実験結果

（1）無載荷収縮ひずみ試験結果

1年経過時点における無載荷収縮ひずみ試験体の質量減少量を Fig.2(a),(b) に示す。同図 (a) 及び (b) の比較から超軽量コンクリートの質量減少量は普通・軽量1種コンクリートより小さいことが分かる。また、普通・軽量1種コンクリートの密封試験体は気中試験

体の2割程度の質量変化があり、完全な密封状態にはならなかったことを示している。

1年経過時点における無載荷収縮ひずみ一覧を Fig.3 に示す。ただし、密封試験体と気中試験体とでは計測開始時点が異なり、密封試験体は打設後28日、気中試験体は打設後3日からである。

Fig.3(a) から、密封試験体であっても収縮ひずみを生じていることがわかる。普通コンクリートの場合、完全な密封状態ではなかったため、主に乾燥収縮によるひずみを生じたと考えられるが、質量変化がなかった超軽量コンクリートの密封試験体についても収縮ひずみが 200μ 程度生じており、これは主に自己収縮に起因するひずみと考えられる。一般的に自己収縮は水セメント比が小さいほど大きくなるといわれており、超軽量コンクリートは水セメント比が小さいため、この自己収縮が大きいと考えられる。また、軽量1種コンクリートの密封試験体は重量が小さくなっているにもかかわらず膨張しているが、これは骨材に含まれていた大量の余剰水がコンクリート中に拡散し、試験体が膨張したためと考えられる。

（2）クリープ試験結果

載荷開始から1年経過時点までの全クリープひずみと材齢との関係を Fig.4 に示す。ここで全クリープひずみとは気中試験体、密封試験体の区別なく、載荷直後から時間とともに徐々に進行した全ひずみのことであり、これにはクリープひずみ、乾燥収縮ひずみ、自己収縮ひずみが含まれる。試験中、空調設備の故障により相対湿度が60%から45%に低下した期間が2ヶ月あり、Fig.4(a),(b),(c)の気中試験体では全クリープひずみが相対湿度の変化した点から大きくなっている。

1年経過時点における全クリープひずみを Fig.5 に示す。気中試験体に関して、超軽量コンクリートの全クリープひずみは、普通コ

Table 3 骨材の性質
(Qualities of Aggregate)

種類	骨材	使用コンクリート	原料・産地	粒径範囲(mm)	絶乾比重	吸水率(%)
細骨材	G	超軽量	廃ガラス	～5	0.71	9.3
	陸砂	普通・軽量1種	新潟産	～5	2.57	1.6
粗骨材	S	超軽量	膨張頁岩	5～15	0.96	9.0
	M	軽量1種	膨張頁岩	5～15	0.82	9.6
	砕石	普通	奥多摩産	5～20	2.64	0.6

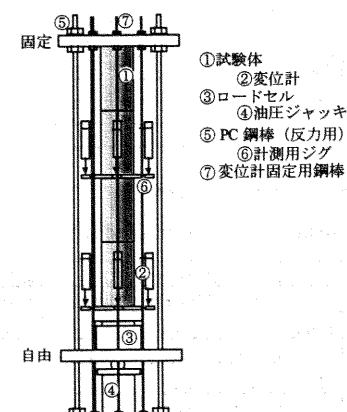


Fig.1 クリープ試験機
(Measuring Instrument of Creep)

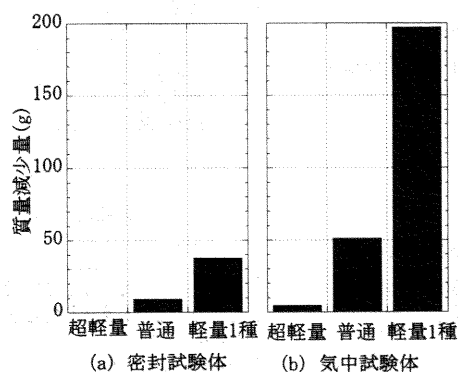


Fig.2 質量変化量の比較
(Comparison of weight change)

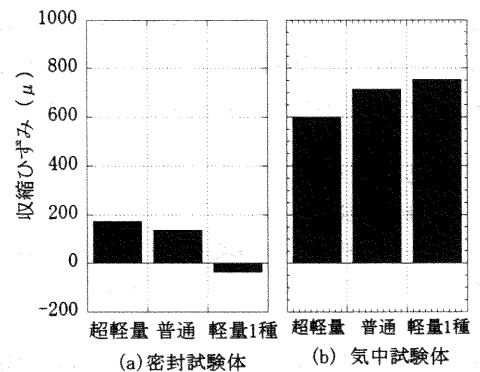


Fig.3 収縮ひずみの比較
(Comparison of Shrinkage)

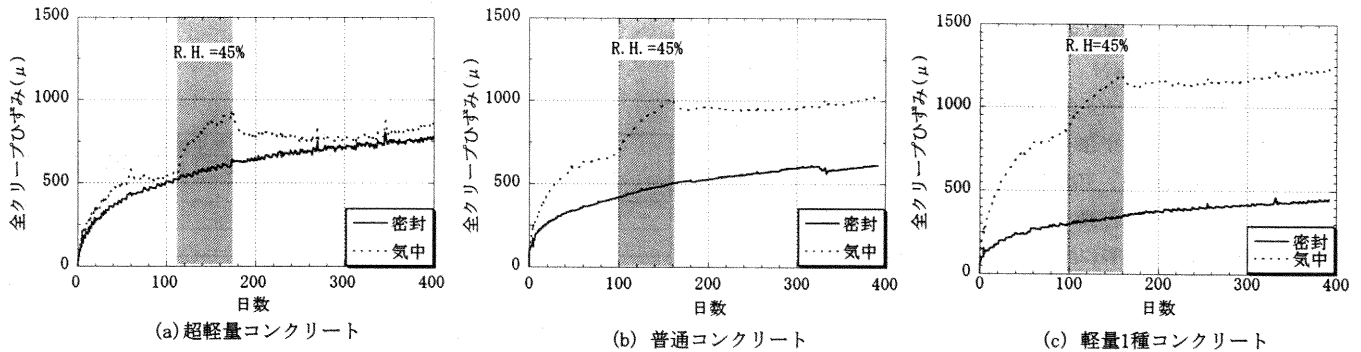


Fig.4 全クリープひずみの経時変化
(Strain after Loading=All Creep)

ンクリート及び軽量1種コンクリートと同程度か、または小さい値となっている。

次に単位クリープ及びクリープ係数を求める。一般に単位クリープ及びクリープ係数は、クリープにより生じた全ひずみから収縮ひずみを差し引き、その値を載荷応力あるいは載荷時の弾性ひずみで除して求める。これは、以下の累加が成立することを仮定している。

$$\text{全クリープひずみ} = \text{クリープひずみ} + \text{収縮ひずみ}$$

しかし、高強度コンクリートではこの累加が成立しないともいわれている²⁾。そのため、本報では無載荷収縮ひずみを差し引かず、全クリープひずみをそれぞれ載荷応力及び載荷時の弾性ひずみで除し、単位全クリープ及び全クリープ係数とした。1年経過時点の単位全クリープ及び全クリープ係数を Fig.6(a),(b) に示す。

超軽量コンクリートの単位全クリープは、Fig.6(a) より密封では普通・軽量1種コンクリートに比べて大きく、気中では普通と同程度、軽量1種より小さい。超軽量コンクリートは普通コンクリートに比べ弾性係数が小さく自己収縮が大きいため、密封条件ではこれらの影響が顕著に現れ、単位全クリープが大きくなっていると思われる。しかし、乾燥まで含めた単位全クリープは、普通コンクリートと同程度であり、実構造物が乾燥の影響を受けることを考慮すれば、超軽量コンクリートの単位全クリープは、普通・軽量1種コンクリートと同等かそれ以下であると考えられる。また、Fig.6(b) より超軽量コンクリートの全クリープ係数は普通・軽量1種コンクリートに比べ低い傾向があるが、これは超軽量コンクリートの弾性ひずみが大いためである。

クリープ実験によって、超軽量コンクリートの全クリープ係数は1程度であることが確認できた。この実験結果を次に行う長期たわみの解析に用いることとする。

Ⅲ．長期たわみ試験

1. 実験概要

超軽量コンクリートの長期たわみ性状を把握するため、はり試験体の長期載荷実験を行った。試験体一覧を Table 4 に示す。実験要因は積載荷重及びコンクリート種類とし、積載荷重として計算上のひび割れ荷重 W_{cr} 及び $W_{cr}/2$, $W_{cr}/4$ の3水準、コンクリート種類として超軽量、普通、軽量1種コンクリートの3水準を検討した。計算上のひび割れ荷重とは、GS-100の引張縁応力が $1.6\sqrt{f_c}$ (ただし、単位は kg/cm^2) となる荷重としている。Table 5 にコン

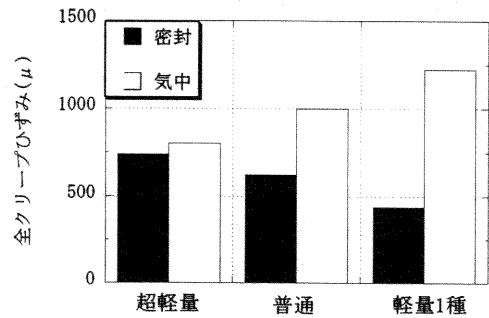


Fig.5 全クリープひずみの比較
(All Creep after 1 year Loading)

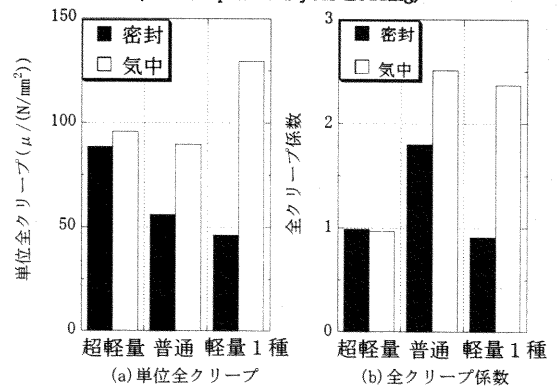


Fig.6 単位全クリープ及び全クリープ係数
(Specific All Creep and All Creep Coefficient)

Table 4 試験体一覧
(List of Specimen)

NO.	試験体	実験要因	
		積載荷重	コンクリート種類
1	GS-100	$W_{cr}(=3.33\text{kN/m})$	超軽量コンクリート
2	GS-50	$W_{cr}/2$	
3	GS-25	$W_{cr}/4$	
4	NC-100	W_{cr}	普通コンクリート
5	LC1-100		軽量1種コンクリート

ただし、 W_{cr} は計算上試験体にひび割れが生じる荷重

Table 5 コンクリートの調合
(Mixing Proportions)

コンクリート	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg)			
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
超軽量	35	5.6	50.0	170	486	217	288
普通	57	4.5	44.6	168	295	803	1002
軽量1種	52	5	49	184	354	832	433

クリートの調合, Table 6 に材料試験結果を示す。超軽量コンクリートの弾性係数は 11kN/mm^2 程度で, 普通コンクリートの50%, 軽量1種コンクリートの70%程度の値であった。

はり試験体の形状・寸法をFig. 7に示す。上端筋に $\phi 6\text{mm}$ で150mmピッチの溶接金網, 下端筋にD13の異形鉄筋を用い, かぶりは30mmとした。載荷は, 打設4週後, 鉛インゴッドを等分布荷重になるよう試験体上部に均等に配した。支点は単純支持としている。測定項目は, 試験体中央のたわみ量, コンクリートひずみ量, 鉄筋ひずみ量である。試験体は湿度変化のある室内に存置したため, 季節により乾燥の程度が異なる。乾燥することにより長期たわみが増進することが考えられるため, 湿度の計測を併せて行った。また, 乾燥収縮によるたわみ増分を考慮するため, 乾燥収縮ひずみ計測用の試験体を別途作製し, はり試験体と同じ環境下に存置した。乾燥収縮ひずみ計測用の試験体は, 厚さ150mm, 縦300mm, 横300mmとし, 側面をシールすることによってせい150mmのはり試験体を模擬している。乾燥収縮ひずみは, ひずみゲージにより計測している。

なお, 超軽量コンクリートを使用したはり試験体表面には, 載荷する以前から幅0.02mm程度の微細なひび割れが亀甲状に観察された。これは, セメント分の多い超軽量コンクリートのモルタルが自己収縮することによって生じたひび割れであると考えられる。そのため, 超軽量コンクリートのはり試験体は載荷によるひび割れの発生を確認することはできなかったが, 載荷直後のたわみ量からひび割れが発生しているものと判断した。

2. 実験結果

実験で得られた載荷材齢-たわみ量関係をFig. 8(a),(b)に示す。なお, 計測開始前に, 載荷によって普通・軽量1種コンクリートの両試験体にひび割れが発生していることを確認した。Fig. 8(a)より, 超軽量コンクリートの1年経過時点のたわみ量は, 普通コンクリートと同程度, 軽量1種コンクリートよりも小さいことが分かる。載荷直後のたわみは, 超軽量, 軽量1種, 普通コンクリートの順に小さくなっており, 超軽量コンクリートは載荷後のたわみ増進が小さいことがわかる。相対湿度変化をFig. 8(a)に実線で示しているが, 相対湿度が60%以下になるとたわみ量が急増しており, 相対湿度変化がたわみ量に対して大きな影響を与えている。また, Fig. 8(b)は超軽量コンクリートの長期たわみ変化を示しており, 載荷荷重が大きいほど長期たわみ量は大きくなっているが, たわみの増進には大きな差がないことが分かる。このことから, たわみの増進は載荷荷重をその起因とするクリープの影響よりも, 載荷荷重をその起因としない収縮の影響の方が大きいものと考えられる。

Fig. 9に乾燥収縮ひずみ計測用の試験体より得られた載荷材齢-乾燥収縮ひずみ関係を示す。同図より超軽量コンクリートの乾燥収縮ひずみが最も小さく, 普通, 軽量1種コンクリートの順に大きくなっている。また, 普通・軽量1種コンクリートの乾燥収縮は湿度変化により大きな影響を受けており, これはFig. 9(a)の中央たわみの経時変化と整合している。超軽量コンクリートは水セメント比が低いため, 余剰水が少なく, 収縮が抑制されたものと考えられる。このように超軽量コンクリートは普通コンクリートに比べ, 初期たわみは大きい, 収縮ひずみは小さい傾向にあるため, 1年経過時点の長期たわみは超軽量コンクリートと普通コンクリートとで同程度になったと推測される。

Table 6 材料試験結果
(Mechanical Properties)
コンクリート

試験体名	材料特性(28日) 気中養生		
	比重	圧縮強度 N/mm^2	弾性係数 kN/mm^2
GS-100	1.22	29.3	10.81
GS-50	1.22	33.9	11.34
GS-25	1.22	33.9	11.34
NC-100	2.21	23.2	21.67
LC1-100	1.78	23.6	14.60

鉄筋

材料名	降伏点 N/mm^2	引張強度 N/mm^2	弾性係数 $\times 10^4 \text{N/mm}^2$	伸び率 (%)
D13	350	497	18.9	19.6

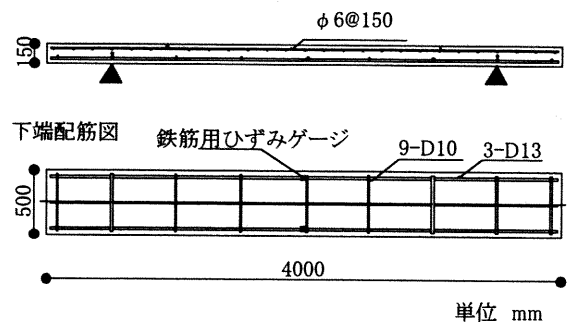
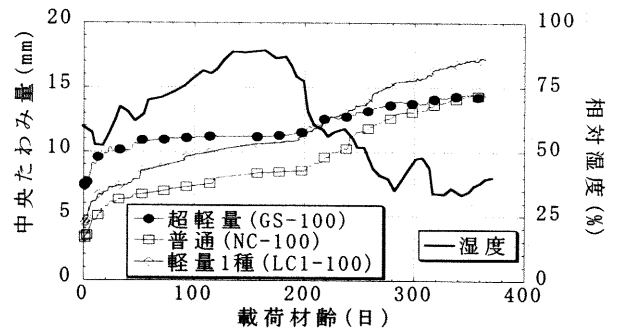
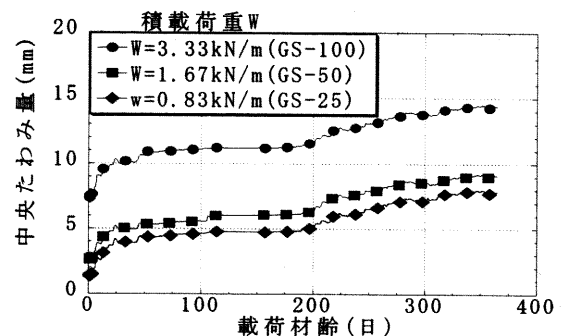


Fig.7 試験体図
(Specimen of Long-time Deflection)



(a) 中央たわみの経時変化 (コンクリート種類による比較)



(b) 中央たわみの経時変化 (荷重による比較)

Fig.8 中央たわみの経時変化
(Comparison of Deflection)

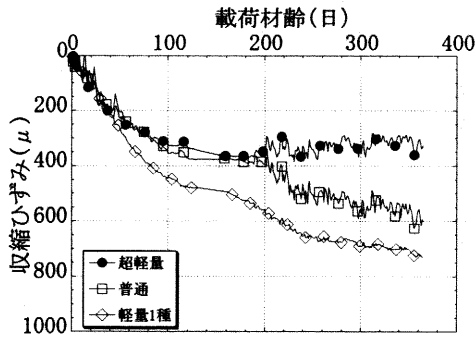


Fig.9 収縮ひずみの経時変化
(Comparison of Shrinkage)

IV. 長期たわみの予測

Fig. 8(b)に示すような長期たわみに与える荷重の影響を既存式により予測可能か検討する。長期たわみの算定は、『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説』¹⁾に示されている武田らの計算方法により求める。この計算方法は、長期たわみに影響を与える要因としてひび割れ、クリープ、乾燥収縮の影響を考慮するものであり、これらの累加により長期たわみが求まるとしたものである。よって、長期たわみの予測式は以下の形をとる。

$$\delta = (K1 + K2 + K3) \times \delta_0 \quad (1)$$

δ : 長期たわみ δ_0 : 弾性たわみ

K1: ひび割れによる曲率増加倍率

K2: クリープによる曲率増加倍率

K3: 乾燥収縮による曲率増加倍率

以降、それぞれの影響について検討する。

(1) ひび割れの影響

部材にひび割れが生じると剛性の低下が起こり、たわみは増加する。剛性の最大値を弾性剛性(EI), 剛性の最小値をひび割れ剛性(EI_{cr})とし、それぞれ以下の計算式によって表す。

$$EI = E \cdot bD^3/12 \quad (2)$$

$$EI_{cr} = E \left\{ bX_n^3/3 + n \cdot a_i(d - X_n)^2 + a_c(n-1)(X_n - d_c)^2 \right\} \quad (3)$$

$$X_n = -n(a_i + a_c)/b + \sqrt{\{n(a_i + a_c)/b\}^2 + 2n(a_i \cdot d + a_c \cdot d_c)/b} \quad (4)$$

b: 部材幅 D: 部材せい

d: 有効せい E: ヤング係数

a_i : 引張鉄筋量 a_c : 圧縮鉄筋量

n: ヤング係数比 d_c : 圧縮端から圧縮中心までの距離

ひび割れによる曲率増加倍率 K1

を Table 7 に示す。荷重が同じ場合弾性剛性から算定した曲率は普通、軽量1種、超軽量コンクリートの順

にそれぞれ 1.8 μ/mm , 2.5 μ/mm , 3.1 μ/mm と大きくなっているが、ひび割れ剛性から算定した曲率は超軽量、普通、軽量1種コンクリートとも同じく 9 μ/mm 程度である。

以降の計算は、すべてひび割れ剛性によって行う。

(2) クリープの影響

コンクリート部材に応力が長期的に作用した場合、クリープによって変形が進行する。ここではクリープを考慮した曲げ変形計算法である修正ヤング係数法を用い、その影響を検討する。修正ヤング係数法とは、コンクリートのヤング係数を以下のように修正して、計算する方法である。

$$E_f = E / (1 + \phi) \quad (5)$$

E_f : 修正ヤング係数 E: ヤング係数 ϕ : クリープ係数

今回は実験で求めたクリープ係数を用いており、その値はTable 8のクリープ係数に示すとおりである。この値は Fig.6の気中試験体の全クリープ係数より数値が小さいが、これは(5)式の ϕ がクリープ係数であるため、収縮ひずみ分を差し引いたことによる。(5)式の計算の結果、クリープを考慮に入れた曲率(κ_{cr}')はGS-100が11.4 μ/mm , NC-100が12.0 μ/mm , LC1-100が12.7 μ/mm であった。超軽量コンクリートのクリープ係数は、普通コンクリートや軽量1種コンクリートの半分程度であるため、クリープを考慮に入れた場合には、超軽量コンクリートの曲率は普通・軽量1種コンクリートより小さくなっている。

(3) 収縮の影響

収縮を生じた場合、ひび割れの生じている部材のたわみは増加するが、これは以下の理由による。はり部材に曲げが作用した場合、部材断面には圧縮領域と引張領域が存在する。収縮によって圧縮領域

Table 7 ひび割れによる曲率増加倍率 K1
(Increment of Curvature due to Cracking)

試験体	中央点 モーメント* M N·m	ヤング係数 E kN/mm ²	剛性($\times 10^3$ kN·m ²)		曲率(μ/mm)		K1 κ_{cr}/κ
			弾性 EI	ひび割れ EI_{cr}	弾性 κ	ひび割れ κ_{cr}	
GS-100	4600	11	1.5	0.50	3.1	9.2	3.0
GS-50	2800	11	1.6	0.51	1.7	5.4	3.1
GS-25	1800	11	1.6	0.51	1.1	3.6	3.1
NC-100	5400	22	3.0	0.60	1.8	9.0	5.1
LC1-100	5100	15	2.1	0.54	2.5	9.3	3.8

*載荷荷重+自重

Table 8 クリープによる曲率増加倍率 K2
(Increment of Curvature due Creep)

試験体	クリープ係数*	修正ヤング係数 E_f kN/mm ²	曲率 κ_{cr}' μ/mm	K2 ($\kappa_{cr}' - \kappa$)/ κ
GS-100	1.0	5.5	11.4	0.7
GS-50	1.0	5.8	6.7	0.7
GS-25	1.0	5.8	4.4	0.7
NC-100	2.0**	7.3	12.0	1.7
LC1-100	1.8**	5.1	12.7	1.4

*クリープ実験結果より

**クリープ実験と調合が異なるため、参考値

Table 9 収縮による曲率増加倍率 K3
(Increment of Curvature due to Shrinkage)

試験体	収縮ひずみ (実験値) S_n μ	中立軸位置 X_n' cm	曲率 増分 κ_{sh} μ/mm	K3 κ_{sh}/κ
GS-100	325	4.3	3.2	1.0
GS-50	325	4.2	3.2	1.8
GS-25	325	4.2	3.2	2.8
NC-100	591	3.3	5.8	3.3
LC1-100	730	3.8	7.1	2.9

域のコンクリートは材長方向に縮もうとする一方、引張領域ではひび割れが存在するためにコンクリートが収縮してもひび割れ幅が広がるだけで材長方向には収縮しない。この結果、部材断面の上下で収縮する部分としない部分が生じ、たわみが増加するわけである。今回の実験では、収縮ひずみは Table 9 に示す値であったため、収縮の影響による曲率増加を以下の式によって算定した。

$$\kappa_{sh} = 0.5 \cdot E \cdot S_n \cdot b \cdot X_n' / E \cdot I_{cr} \quad (6)$$

S_n : 収縮ひずみ

Table 9 より、超軽量コンクリート(GS-100,GS-50,GS-25)は、収縮による曲率増分が3程度と普通(NC-100)、軽量1種コンクリート(LC1-100)に比べて小さい。収縮による曲率増分は概ね収縮ひずみに比例しており、収縮ひずみの小さい超軽量コンクリートはたわみ増分が小さくなっている。

ここまでの計算でひび割れの影響、クリープの影響、収縮の影響による曲率増加倍率である K_1, K_2, K_3 がそれぞれ求まったので、計算値と実験値の比較検討を行う。計算値及び実験値を荷重-たわみ関係(載荷材齢1年)として Fig.10 に示す。図より、超軽量コンクリート試験体の実験結果は計算値の直線とほぼ一致しており、前述のような計算を行うことで長期たわみの予測は可能であると考えられる。

次に、超軽量コンクリートを普通・軽量1種コンクリートと比較する。Fig. 10より超軽量コンクリートの実験値はほぼ計算値と一致するのにに対し、普通・軽量1種コンクリートでは計算値よりも小さい。これは、計算にひび割れ剛性を用いたことが原因の一つであると考えられる。ひび割れ剛性を用いるということはコンクリートが引張力をまったく負担しないと仮定しているわけであるが、実際にはコンクリートも引張応力を負担する。そのため、計算ではひび割れの影響による曲率増加倍率(K_1)を過大に評価してしまっている可能性が高い。これは超軽量コンクリートの場合も同じはずであるが、超軽量コンクリートの場合、載荷直後のたわみ量が既にひび割れ剛性で計算したたわみ量と同じ程度となっており、超軽量コンクリートの試験体については必ずしもひび割れの影響による曲率増加倍率を過大に評価しているわけではないものと考えられる。また、載荷直後のたわみ量が大きい原因の一つとして、前述した微細ひび割れが影響したことも考えられる。

Table 7, 8, 9 の曲率増加倍率 K_1, K_2, K_3 とその総和を一覧にして、Table 10 に示す。同じ荷重条件では、超軽量(GS-100)、軽量1種(LC1-100)、普通コンクリート(NC-100)の順に曲率増加倍率の総和が大きくなり、それぞれ 4.8, 8.1, 10.1 となった。超軽量コンクリートは曲率増加倍率が小さく、普通コンクリートの半分程度であるため、弾性係数が小さいにも関わらず、結果として普通コンクリートと同程度の長期たわみ量になったものと考えられる。

V. まとめ

超軽量高強度コンクリートの長期たわみ性状について実験を行った結果、次の結論を得た。

- 1) 軽量コンクリートの全クリープひずみは、気中試験体の場合、普通コンクリートと同程度である。

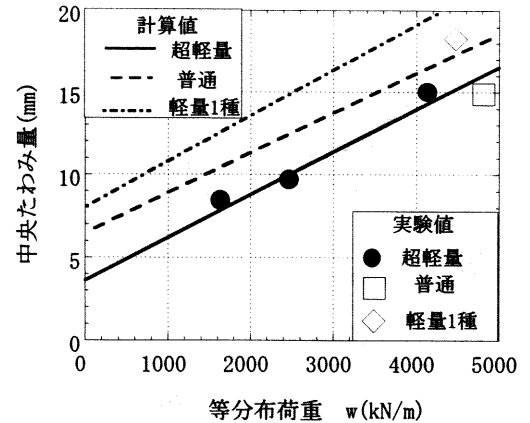


Fig.10 載荷開始1年後の荷重-たわみ関係
(Load-Deflection Curves after 1 year Loading)

Table 10 曲率増加倍率一覧
(Total Increment of Curvature)

試験体	K_1 κ_{cr}/κ	K_2 $(\kappa_{cr}' - \kappa)/\kappa$	K_3 κ_{sh}/κ	$K_1+K_2+K_3$
GS-100	3.0	0.7	1.0	4.8
GS-50	3.1	0.7	1.8	5.7
GS-25	3.1	0.7	2.8	6.6
NC-100	5.1	1.7	3.3	10.1
LC1-100	3.8	1.4	2.9	8.1

- 2) 超軽量コンクリートのクリープ係数は、普通コンクリートに比べ小さい。
- 3) 超軽量コンクリートの長期たわみは普通コンクリートと同程度で、軽量1種コンクリートよりも小さい。
- 4) 超軽量コンクリートの長期たわみは、ひび割れ剛性を用いることで、RC規準に示される予測式により推定可能である。
- 5) 超軽量コンクリートの曲率増加倍率は、普通・軽量1種コンクリートよりも小さい。

参考文献

- 1) 日本建築学会，鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1988。
- 2) 長滝，米倉；高強度コンクリートの乾燥収縮及びクリープの特性，コンクリート工学，Vol.20 No.4,(1982.4), pp.75-87。