コンクリートの打込後の体積変化について*

中条 金兵衛** 近 藤 実**

On the early Volume Change of Concrete after Placing

by Kinbē CHŪJŌ and Minoru KONDO

The Authors measured the early volume changes of concretes which were placed under least friction in the moulds by own method and by devised rapid exact method, and obtained following results.

1) In the cases of Portland Cement of normal properties, the settling amount up to 10 minutes after placing of concrete indicates increased values from 40×10^{-4} to 100×10^{-4} (compared with initial unit length) as increasing W/C and slump values. Then the volume change stops for a short time and after 1~2 hours from initial placing, shrinkage due to cement paste in concrete of the order $(3 \sim 1) \times 10^{-4}$ reciprocal to W/C and to settling amount, appears.

2) Abnormal Portland Cements which showed the tendency of early cracking at concrete building jobs, showed the abnormal settling in above described apparatus in laboratory continued till 60 minutes after placing of test concrete, and large shrinkage followed the rest period.

1. 緒 言

コンクリート打込後の体積変化は一応2段階に分けて考えられる。すなわちセメントの凝結終了前とその後におけるものである。ここでは第1段階のものを対象としている。この初期における体積変化に影響を与える因子は

(1) 打ちたてコンクリートが沈下により落ち付く現象

(2) ブリーディングによる浮上水の逸出

(3) セメントの水和による物理的、化学的变化などの外、高温・通風による乾燥、型枠のふくらみ、漏水などが挙げられるが、ここでは前3者について考察することにした。

2. コンクリートの初期体積変化の測定

コンクリート打込後の軟かい間の体積変化を測定するには種々の方法が考えられる^{1)~5)}。著者らは独自の考案によつて得た装置をもつてこの一年間研究を続け、その結果の一部は既に発表した⁶⁾。

以下装置の原理・構造・方法について述べようと思う。

(1) 装置および測定方法 装置の大略は Fig. 1 に示す通りである。

型 枠 コンクリート圧縮試験用標準シリンドー2個連結または1個を用い、内面には油をうすく塗附し、その上に銅の微粉をまぶす。さらにその内側にパラフィン紙を2~3枚巻き、その中にコンクリート

Fig. 1 Apparatus to measure Settling and early Shrinkage of Concrete.

を詰める。銅粉粒子は非常に微細で、鱗片状をなし、被覆力が大きく、また水となじまないで、これが型枠とパラフィン紙の間に介在することにより摩擦を非常に小さくし、打込コンクリートの沈下収縮を自由に行わしめることができる。

型枠側壁の最下部は固定点になるようにこの部分には帯状に銅粉もパラフィン紙も施さない。

CKディスク Fig.1の右方に示すように、厚さ12 mm, 直径110 mm のベークライト製円板の中心に

* 原稿受付 昭和28年11月19日

** 日本セメント株式会社研究所

真鍮製の棒 ($5\phi \times 60\text{ mm}$) を固定し、末端に直径 12 mm の小円板を溶接してダイヤルゲージの接点とし、ベークライト円板には $9\text{ mm}\phi$ の円孔 12 個を有し、ブリーディング水を自由に通過せしめるようにしたものであるが、このディスクは非常に有用なので CK ディスクと名づけ愛用した。ディスク全体の重量は 172 g 、比重は 1.7 である。これを Fig. 1 左方に示すように型枠に詰め上げてきたコンクリート中に、上面から $2\sim 4\text{ cm}$ 下方に型枠と中心を合せて埋め込む。ディスクは 12 個の孔を有するのでブリーディング水は自由に通過する。また比重は 1.7 であるからこれを骨材と考えると、コンクリートの伸縮と行動をとともにすると思われる。

すなわち比重からいっても、また水平に拡がりを持つ点からしても、ディスク単独に沈下することも浮き上ることもない。この点を確認するために併用した顕微鏡による方法は後に説明する。

支持台およびダイヤルゲージ 上記の鉄製型枠は Fig. 1, Fig. 2 のように支持台の上に置く。これには 1 本または 2 本の鉄製支柱を固定し、その上部にあるアームにダイヤルゲージをら着する。これの 1 目盛は $1/100\text{ mm}$ である。型枠にダイヤルゲージを固定することも考えられるが、セメントの水和熱によつてコンクリートとともに型枠の温度が上昇し次に冷却するために、供試体の伸縮とは別に鉄型枠の温度による伸縮

Fig. 2 Apparatus to measure Settling and early Shrinkage of Concrete.

によつてゲージが動き、それだけ誤差を生ずる。したがつてこの方法は採用できないので、別に支柱を立て、これにゲージを取り付けたわけである。

試験材料 ミキサー、装置、器具類はすべて $20^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の恒温室に置き、測定も同温度で行つた。

顕微鏡による測定 ダイヤルゲージを用いて測定する場合は CK ディスクの頭にゲージのスピンデルを接触せしめて測るが、そのばねの作用のためディスクを多少下方に圧する力が働く。これはディスクの比重 1.7 がコンクリートのそれより小さいために生ずる浮力とある程度バランスするであろうが、このばねの作用によるディスクの浮沈の有無を確めておく必要がある。したがつてダイヤルゲージによる上記の方法とこのゲージを取り除き顕微鏡によつてディスクの頭の運動を測定する方法とを比較した。

両法の結果は後述するように非常によく一致し、いずれの方法も正しい結果を与えることを知つた。

ただコンクリートは打終り後直ちに急速に沈下するので迅速に測定を始めなければならない。この点よりダイヤルゲージによる方法が優れていて、観測も容易であるから主にこの方法によつた。

標準型枠 2 連の場合は 6 層に、単独の場合は 3 層にコンクリートを詰め、そのつど鉄棒にてよく搗き、上面より深さ $2\sim 4\text{ cm}$ の中心部に CK ディスクを粗骨材に支えられるように落ち付かせて埋め込む。コンクリートを打ち終つてのち、できるだけ迅速にダイヤルゲージをセットして測定にかかる。これに要する時間は短いのがよろしく、 $1\sim 2$ 分を要したのみであつた。

3. 実験結果

(1) ダイヤルゲージ法と顕微鏡法との比較 普通ポルトランドセメント 330 kg/m^3 を使用し、

$$W/C=55\% \quad \text{slump}=12\text{ cm}$$

のコンクリートを、上記の装置によつてその標準型枠への打込後の沈下量をダイヤルゲージによる場合と顕微鏡による測定とを比較したのが Fig. 3 である。すなわち測定を始めから 3 分間の測定値(●印)はダイヤルゲージによつて求め、次にゲージを取り去つてこれによるばねの作用を止め、CK ディスクの頭の動きを顕微鏡内のリニアマイクロメータ上に読み取つた測定値(○印)をプロットし、これを曲線で連ねたものが Fig. 3 である。この図に見られるように両法による測定点はよく 1 つの単純な曲線に乗っている。これはダイヤルゲージの足のばねの作用の影響はほとんどないことおよびダイヤルゲージ法の正しいことを証明するものである。

また、上と同一のセメントを 330 kg/m^3 使用し、

$$W/C=60\% \quad \text{slump}=20\text{ cm}$$

Fig. 3 Settling ($W/C=55\%$, Slump=12cm, Normal Cement=330kg/m³).

のコンクリートを供試体2個に成型し、コンクリートの沈下量を一方においてダイヤルゲージにより (Fig. 4 中に ---●--- で示す)、他の供試体について顕微鏡により (Fig. 4 中に —○— 印) 測定したものが Fig. 4 である。同図に見られるように供試体および測定法が異なってもほとんど同一の結果が得られ、ダイヤルゲージ法は顕微鏡法と同様の結果を与えることを再び知ることができた。

次に普通ポルトランドセメントを 300 kg/m³ 使用し、

$W/C=61\%$ slump=12 cm

のコンクリートを標準円筒供試体2個に成型し、それらの沈下、収縮量を一方の供試体についてダイヤルゲージ法により測定し (●印)、他方の試験体については、初めの7分間はダイヤルゲージにより (測定値○印)、それ以後は顕微鏡により (測定値△印) 測定した結果

Fig. 4 Settling ($W/C=60\%$, Slump=20cm, Normal Cement=330kg/m³).

Fig. 5 Settling ($W/C=61\%$, Slump=12cm, Normal Cement=300kg/m³).

が Fig. 5 に示されている。図に見られるように、この試験においても両法の妥当性をさらに確め、ダイヤルゲージ法の再現性を知ることができる。

以上のようにCKディスクとダイヤルゲージ使用の測定法は正しい結果を示すことが明らかとなった。この方法が他の方法¹⁾²⁾³⁾と比較して有利な点は測定開始が非常に早く、コンクリート打込み後 1~2 分の読み初め、その後の刻々の変化の測定も容易で、打込み直後から10分以内に劇しく変化するコンクリートの沈下を追って測定するには有力な武器である。

(2) 正常なセメントを 330 kg/m³ 使用, $W/C=50\sim60\%$, slump=5~20 cm の場合 セメントは

Table 1 Properties of Test Portland Cement; Chemical Analysis

Ig. Loss	Ins. Res.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
1.10	0.42	21.84	5.61	2.94	64.62	1.70	1.19	99.42

Physical properties

Fineness	Setting		Strength kg/cm ²					
	initial	final	Bending			Compression		
			3d	7d	28d	3d	7d	28d
3420cm ² /g	1h42m	2h52m	27.0	48.9	66.0	104	222	386

Table 1 に示すような正常な普通ポルトランドセメントで、これを

cement : 330 kg/m³, gravel/sand=170

の条件の下に

$W/C=50, 55, 60\%$

slump=5, 12, 20 cm

と変化せしめた3種のコンクリートを打ち、沈下と早期伸縮とを上記のCKディスクとダイヤルゲージを使用する方法によって測定した結果は Figs. 6, 7, 3, 8, 4, 9 のようである。それらのうち Figs. 6, 3, 4 は打込後 1~2 分後からのコンクリートの沈下の状態が水量、

Fig. 6 Settling ($W/C=50\%$, Slump=5cm, Normal Cement=330 kg/m³).

スランプの変化に伴っていかなる経過を辿るかを示し、Figs. 7, 8, 9 は打込みより5分以後の主に沈下が終つてからのコンクリートの伸縮を縦軸のスケールを大きくして示している。

(3) 正常なセメント 300 kg/m^3 使用, $W/C=56$ ~60%, スランプ 4~20 cm の場合 (2)の場合と

Fig. 7 Shrinkage ($W/C=50\%$, Slump=5 cm, Normal Cement= 330 kg/m^3).

Fig. 8 Shrinkage ($W/C=55\%$, Slump=12 cm, Normal Cement= 330 kg/m^3).

Fig. 9 Shrinkage ($W/C=60\%$, Slump=20 cm, Normal Cement= 330 kg/m^3).

Fig. 10 Settling ($W/C=56\%$, Slump=4 cm, Normal Cement= 300 kg/m^3).

同じ正常なセメントを使用し, Cement= 330 kg/m^3
F. M. = 砂:2'10, 砂利:6'83一定とし,

$W/C=56\%$, 61%, 66%,
slump=4 cm, 12 cm, 20 cm

のように変化せしめて, 3種のコンクリートの沈下と早期伸縮とを上記の装置によつて測定した。Figs. 10, 11; 5, 12; 13, 14 に示す通りである。

Fig. 11 Shrinkage ($W/C=56\%$, Slump=4 cm, Normal Cement= 300 kg/m^3).

Fig. 12 Shrinkage ($W/C=61\%$, Slump=12 cm, Normal Cement= 300 kg/m^3).

Fig. 13 Settling ($W/C=66\%$, Slump=20 cm, Normal Cement= 300 kg/m^3).

Fig. 14 Shrinkage ($W/C=66\%$, Slump=20 cm, Normal Cement= 300 kg/m^3).

Figs. 10, 5, 13 は打込終了後1~2分からの沈下の経過を水量, スランプを上記のように変えて測定した結果で, Figs. 11, 12, 14 は沈下がほぼ終わった5分後からの主に伸縮の部分を拡大して掲げている。

(4) 建築現場で初期亀裂を生じたセメントによる結果 建築現場では各種の条件下に施工されているから, 発生した初期亀裂がセメントによるものとは断言できない場合が多いのであるが, 一応そうした現場から普通ポルトランドセメントA, 他の現場から普通セメントBを譲り受けて, それらによつて

$W/C=60\%$, slump=17~18 cm

gravel/sand=1:50 cement=323 kg/m³

のコンクリートとし, 上記の装置によつて沈下と伸縮を測定してみた。これが Figs. 15, 16, 17, 18 である。これらと比較するため正常と考えられる普通セメントCにて上と同様の条件下, すなわち

$W/C=60\%$, slump=13 cm, cement=323 kg/m³

のコンクリートの沈下, 伸縮の測定結果を Figs. 19, 20 に掲げた。

Fig. 15 Settling ($W/C=60\%$, Slump=18 cm, Abnormal Cement A=323 kg/m³).

Fig. 16 Shrinkage ($W/C=60\%$, Slump=18 cm, Abnormal Cement A=323 kg/m³).

Fig. 17 Settling ($W/C=60\%$, Slump=17 cm, Abnormal Cement B=323 kg/m³).

Fig. 18 Shrinkage ($W/C=60\%$, Slump=17 cm, Abnormal Cement B=323 kg/m³).

Fig. 19 Settling ($W/C=60\%$, Slump=13 cm, Normal Cement C=330 kg/m³).

Fig. 20 Shrinkage ($W/C=60\%$, Slump=13 cm, Normal Cement C=330 kg/m³).

4. 実験結果の検討

上に測定した結果を各図について批判検討すれば次のようである。

(1) Figs. 3, 4, 10, 5, 13のごとく正常と考えられる普通ポルトランドセメントの水量56%以上, セメント使用量 300~330 kg/m³におけるコンクリートは, 型枠側壁の摩擦の少ないとき, 打込み後10~20分ではほとんど沈下を終えてしまう。これに反し建築現場で亀裂の出る傾向のあつた場合, Figs. 15, 17においては50分経過後も沈下が続く様相を呈している。

この点に注目するに値するのでさらに探求する実験を行つている。

Fig. 6のごとく $W/C=50\%$, slump=5 cm の場合には内部摩擦が大きいためにセメントは正常であつても沈下が速い。この点は充分注意して考察すべきで

ある。

(2) 正常なセメントにおいては Figs. 7, 8, 9, 11, 12, 14 のごとくコンクリート打込後 10~20 分にして沈下が止り、曲線は一時水平となる。この点を Rest Point と称することとする。これを越えて打込み後 1 時間ほど経てからセメント自身による伸縮の影響が現われるが、上掲の正常なセメントにおいてはその絶対値が小さく、むしろ膨脹を示している。建築現場で亀裂を発生したケースに相当する。Figs. 16, 18 においては収縮の絶対値も大きく、また特異の形状を呈しているものがある。

しかしコンクリートの 10~60 分間の沈下量が Initial Length 1 に対し $40 \times 10^{-4} \sim 100 \times 10^{-4}$ であるのに反して、60分~2時間の伸縮値は正常なコンクリートにおいて $1 \sim 3 \times 10^{-4}$ 、場合によっては $3 \sim 6 \times 10^{-4}$ であつて、沈下量の $1/10$ 以下である。これを沈下と伸縮とを混同してしまつて収縮が大きいと考え、かつ、これはセメントのせいであるとする向きもあるが、それは誤りであることが上の実験結果からいえるのである。

(3) 上述のようにコンクリートの沈下量は非常に大きいから、鉄筋の挿入してある場合その下側にボイドを生ずるから、コンクリートの打継ぎ面と鉄筋の個所との相対的位置には充分注意し、打継ぎ面は鉄筋の直下で行うか、バイブレーターを用いるか、適当な方法を講ずべきである。

(4) セメント技術年報(昭和28年度)162頁の結果を再録する。すなわち Fig. 21 は正常なセメントを用い、 $W/C=60\%$ 一定とし、スランプを 5 cm, 10 cm 15 cm, 20 cm と変化せしめた場合の沈下、Fig. 22 は Slump=15 cm 一定に保ち、 $W/C=55\%$, 60% , 65% と変化させた場合の沈下である。

Fig. 22 によつてわかるように、沈下と収縮とを混同している人々が、水量、すなわち W/C が大きいコンクリートは収縮が大きいと言っているけれども決してそうではない。この点については別に論ずる予定であるが、Fig. 21 に示すように W/C が一定でスランプの値が大きくなると沈下量を増すことに注意すべきである。

ただし、これは沈下であつて、セメントの収縮によるものでないことを再びことわつておく。

(5) 本報の結果および結論はすでに説明したように銅粉とパラフィン紙によつて型枠の内壁の摩擦を極力少なからしめた場合の時間関係について得られたものであつて、その点を考慮しない摩擦の大きい場合には有益な結論を得難いと思われる。

Fig. 21 Settling of Concrete.

Fig. 22 Settling of Concrete.

5. 要 約

本報においては打ちたてコンクリートの沈下伸縮現象の研究結果を述べたものである。

(i) 考案したディスクとダイヤルゲージとを附属した装置によつて迅速に変化する沈下量を測定したが、この方法の正しいことは顕微鏡法によつて確かめられた。

(ii) この装置によつて、正常な普通ポルトランドセメントの使用量、水セメント比、スランプを変化せしめた場合の沈下、伸縮量を測定し、その経過と程度を示した。

(iii) 建築現場において初期亀裂の傾向を生じたセメントにて本装置を用いて沈下、伸縮現象を調査した結果、上記の正常なセメントに比し沈下が長期に続き、伸縮にも異常のある特徴を認めた。

(iv) 型枠とコンクリートとの摩擦を少なくするために特別な方法を用い成功を収めた。

なお本研究は取締役細井研究所長の御指導により、また永高、樋田氏の協力によつて行つたもので厚く感謝の意を表するものである。

注：—

- 1) 吉田徳次郎, 土木学会誌, Vol. 18, No. 8 (1932)
- 2) 吉田彌七, セメント・コンクリート, 5月号 (1952)
- 3) R. E. Davis, 米公報の研究, April, (1953)
- 4) C. H. Scholer & E. R. Dawley, ASTM. Proc. (1930)
- 5) 高野俊介, セメント技術年報, 昭和23年 (1948)
- 6) 中條, 近藤, セメント技術年報, 昭和28年 (1953)