

港 湾 技 研 資 料

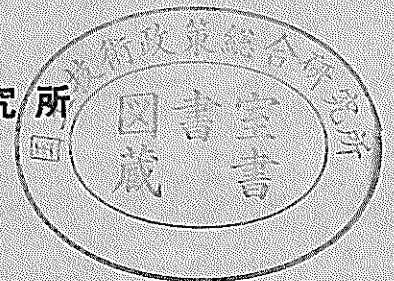
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 143 June.1972

初期材令におけるコンクリートのヤング係数に関する2/3の考察

小 野 寺 幸 夫
関 博

運輸省港湾技術研究所



初期材令におけるコンクリートの ヤング係数に関する 2, 3 の考察

目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 試 験 方 法	3
2.1 使用材料およびコンクリートの配合	3
2.2 供試体の製作および養生方法	4
3. ヤング係数の測定方法	5
3.1 ひずみ測定方法に関する概要	5
3.2 パラフィン接着法を含むひずみ測定試験方法	5
3.3 ひずみ測定方法の検討	6
3.4 ヤング係数の測定方法	8
4. 圧縮強度とヤング係数	8
4.1 各種計算方法によるヤング係数の検討	8
4.2 材令とヤング係数	10
4.3 圧縮強度とヤング係数	10
5. む す び	11
参 考 文 献	11

Some Tests of Young's Modulus for Concrete of Early Ages

Sachio ONODERA*
Hiroshi SEKI*

Synopsis

This paper outlines the method of measurement for strain of concrete and the results of Young's modulus at the ages of one to twenty-eight days.

Strain for concrete specimens (ϕ 10x20, ϕ 15x30 cm) were measured with strain gauges, compresso meter and deformation between the loading plates of testing machine. Test results indicated that the method used with strain gauge possessed higher accuracy than other methods and paraffin was valid adhesive material for strain gauges at the age of one day instead of resin materials.

Young's modulus of concrete defined with secant modulus and code modulus was calculated based on the virgin stress-strain curve. At the ages of fourteen days to twenty-eight days, concrete had the larger increasing ratio of compressive strength compared to that of Young's modulus. On the contrary, it is conceivable that Young's modulus increased at the same degree as compressive strength up to approximately seven days.

* Members of the Materials Laboratory, Structures Division

初期材令におけるコンクリートのヤング係数に関する2, 3の考察

小野寺 幸 夫 *
関 博 *

要 旨

材令1～28日のコンクリート、特に材令7日に至るコンクリートのひずみ測定方法、ヤング係数について検討した。

供試体のひずみ測定値は、ストレインゲージ、コンプレッションメーター、載荷盤間の変位量の測定などを用い、ストレインゲージ接着による測定がもっとも信頼できる方法であることを示した。特に、材令1日においてはパラフィンをゲージの接着剤として使用することによって、十分な精度でひずみを測定できることを明らかにした。

処女応力ひずみ線図により、各種定義（セカントモジュラス、コードモジュラス）によるヤング係数を比較検討すると共に、圧縮強度との関係については、材令14日以降はヤング係数の増加率は圧縮強度の増加率を下廻るが、初期材令においては両者の増加の傾向はほぼ同様であることを示した。

1. まえがき

最近、コンクリート工事における工期の短縮を合理的に行うために初期材令におけるコンクリートの性質の解明が重視されてきている。

これは、スリップフォーム工法をはじめとし早期材令において型枠を脱型するコンクリートの脱型後における自重、あるいは軽微な載荷による応力や変形量を知る必要が生じているわけで、コンクリート港湾構造物についてもこのような傾向が現われてきている。

具体的にはケーソン製作時における脱型時、あるいは進水時の応力、変形量の検討、沈埋トンネル等に用いられる函体などの比較的弾性変形の生じやすい床土へコンクリートを打設した場合の初期材令における応力、変形量の調査検討などに必要とされている。

このような初期材令におけるコンクリートの応力、あるいは変形量を知るためには、材令1日から28日程度までのコンクリートの応力ひずみ線図を実測し、実用的な意味でのいわゆるヤング係数の経時変化について明らかにしなければならぬ。

一方、このような初期材令におけるヤング係数に関する既往の研究^{1)～4)}などは著しく少なく、また、測定方法あるいはヤング係数としての取扱いが必ずしも適切でないものも散見される。

一般的にコンクリートのヤング係数は、長期材令におけるコンクリート、すなわちコンクリートとしての強度を十分に発揮しうる状態のものについては実用上圧縮強度との関係によって検討がなされている。

本実験では、初期材令におけるコンクリートのヤング係数の経時変化について、このような圧縮強度によってとらえることの適否を調べ、さらに、初期材令におけるコンクリートのヤング係数測定方法についても若干の比較実験を行なって検討した。

2. 試験方法

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

(i) セメント 実験に用いたセメントは三菱セメント株式会社製普通ポルトランドセメントであり、物理的性質および化学的性質は表-1に示した通りである。

(ii) 骨材 細骨材は静岡県富士川産の砂で、使用に先だって5mm以上の粒子は除き、表乾に近い状態で貯蔵して表面水量を測定して用いた。

粗骨材は神奈川県酒匂川産の砂利で、最大寸法25mmのものについて粒径5mm以下の粒子を除き、水洗いを加えたものについて気乾状態で使用した。骨材の物理試験結果は表-2に示した通りである。

(iii) 混和剤 港湾構造物に用いられるコンクリートと同一条件のものを得るために減水剤およびA E剤を使用した。減水剤およびA E剤は、ポゾリスNo. 5L およびポゾリスA E A (いずれも日曹マスタービルダーズ株式会社製)である。A E剤については1%溶液として用いた。

(iv) 配合 実験に用いたコンクリートの配合はコンクリート港湾構造物に一般的に用いられている一種類を選び、これにもとづいて試験練りによって示方配合を求めた。実験に用いたコンクリートの示方配合は表-3に示した通り

* 構造部 材料施工研究室

表-1 実験に用いたセメントの物理的、化学的性質

比 重	粉 末 度				凝 結			
	比表面積(ブレン)	88μフルイ 残分	標準軟度量	始 発	終 結			
	cm ² /g	%	%	時-分	時-分			
3.16	3070	1.6	27.1	2-35	3-53			
強度性状*) (kg/cm ²)								
フ ロー	曲 げ 強 さ				圧 縮 強 さ			
mm	1日	3日	7日	28日	1日	3日	7日	28日
244	-	32.5	50.5	70.8	-	133	238	422
化 学 成 分 (%)								
強熱減量	不溶解残分	シリカ	アルミナ	酸化第二鉄	酸化カルシウム	マグネシア	無水硫酸	合 計
igloss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Tbtal
0.6	0.3	21.8	5.3	3.2	64.7	1.6	1.8	99.3

*) モルタル配合 1:2、W/C=65%

表-2 実験に用いた骨材の物理的性質

細骨材の物理的性質 (静岡県富士川産)

比 重	吸水量	フルイに留まるものの重量百分率 (%)						粗 粒 率
		フルイの呼び寸法 (mm)						
		5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
2.64	1.94	0.1	15.1	38.3	63.6	87.5	97.0	3.02

粗骨材の物理的性質 (神奈川県酒匂川産)

比 重	吸水量	単位容積量	空隙率	フルイに留まるものの重量百分率					粗粒率
				フルイの呼び寸法 (mm)					
				25	20	15	10	5	
2.65	0.75	1526	42	0.4	9.2	12.8	41.8	35.2	6.73

表-3 実験に用いたコンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤(cc/m ³)	
									減水剤*	AE剤**
25	12	4±1	56	42	150	270	802	1111	270	810

*) 減水剤はメーカー指定量 (ボゾリスNo.5L)

**) AE剤は1%溶液でセメント1kgに対して3c (ボゾリスAEA)

である。

2.2 供試体の製作および養生方法

(i) 練り混ぜ方法 使用材料は計量後密閉缶に入れて恒温槽(室温21±2℃、湿度75~80% R.H.)に移し、材料温度が一定となるようにした。練り混ぜは、港研改良型KOKEN-64FP-200(ヤマトボーリング株式会社製)強制練りミキサーを用い、全材料投入後3~4分間の

練り混ぜ時間とした。

(ii) 供試体の製作 供試体の製作はJIS A 1132 “コンクリートの強度試験用供試体の作り方”に準じ、内部振動機として棒状バイブレーターを用いた。供試体の形状はφ15×30cmである。

(iii) 養生方法 供試体の養生方法は、後述するところのひずみ測定法上の制約を受けるので湿空養生として統一

し、コンクリート打設後直ちに高湿恒温槽(室温 $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 湿度 $75 \sim 80\% \text{R.H.}$)に移し養生を開始した。

キャッピングを除くストレインゲージの貼付けなどの供試体への加工は、すべて同恒温槽内で行ない所定の養生材令まで養生条件の急変をできるだけ避けた。

供試体の脱型は、材令1日における試験用供試体については注水後18時間で行ない、他の供試体については注水後24時間とした。

(V) キャッピング方法 供試体のキャッピングはすべて石膏によって実施し、キャッピング後材令1日の試験用供試体ではほぼ4時間、他の供試体についてはほぼ24時間経過後試験に供した。

キャッピング面は、材令1日における試験用供試体についてのみ両面キャッピングとし、他のものについてはすべて上面だけの片面キャッピングとした。

ここでキャッピング材料の選択にあたっての検討については後述する。

3. ヤング係数の測定方法

3.1 ひずみ測定方法に関する概要

本章では初期材令におけるコンクリートの処女応力ひずみ曲線を得るためのひずみ測定方法、および、これに関連する一部の試験方法について検討するために行なった予備実験について述べる。

コンクリート試験片のひずみ測定方法は、普通、次のような方法がよく用いられているようである。

a) ストレインゲージを試験片に接着し、電気的に直接ひずみを測定する方法

b) コンプレッソメーターを所定形状の供試体に装着し、一定測長に対する変位量をダイヤルゲージあるいはワイヤーストレインゲージによって測定してひずみを求める方法

c) 載荷試験機の加圧盤間の変位をダイヤルゲージによって測定してひずみを求める方法

a) および b) のひずみ測定方法については比較的検討がなされており⁵⁾ 特に、b) の測定方法については ASTM C469⁶⁾ に規準化されている。また、c) による方法は初期材令におけるコンクリートのひずみを測定する場合によく利用されているようである。

初期材令におけるコンクリートの場合養生条件にかかわらず供試体が湿潤状態を呈し、一方では表面の硬化が不十分となっているため測定方法上に長期材令下のコンクリートと異なった問題が生じてくることが予想される。

例えば、a) による方法ではストレインゲージの接着方法あるいはひずみの測定精度の低下が予想される。また、b) による方法ではコンプレッソメーターのピックアップ部

の、供試体の変位に対する追従性が低下することが考えられる。さらに、c) の測定方法についても得られる測定値がキャッピング部のひずみあるいは供試体端部における加圧盤による拘束などの影響を含むものとなることが予想される。

本章では、初期材令におけるコンクリートのひずみ測定法に生ずるこのような問題について、上述の3測定方法による比較測定を行ない、その影響の程度およびこれにともなう一部の試験方法について予備実験として比較検討し、本実験における試験方法を検討した。

3.2 パラフィン接着法を含むひずみ測定試験方法

予備実験に用いたコンクリートの配合は本実験に用いたものに準じ、供試体形状についても同様に主として $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ とした。供試体の製作および養生方法についても本実験の場合と同一である。

(i) ひずみ測定方法

a) ストレインゲージによるひずみ測定方法

ストレインゲージの接着方法は、材令1日の試験用供試体についてはパラフィン接着法とし、他の供試体については樹脂接着剤による方法とした。

ストレインゲージのパラフィン溶着による貼付け方法は、およそ次のような手順によった。すなわち、ブレイクコートとして固形パラフィン(一級・試薬)をハンダごとによって供試体表面に溶着させ、これを削り取ってできるだけ薄い平滑層に仕上げる。次に、このブレイクコート面上にストレインゲージを溶着せしめ、この上面をガラスクロスで覆いパラフィンにてコーティングした。

ストレインゲージの接着位置は図-1に示した通りである。

測定に用いたストレインゲージは PL-60 (東京測器研究所株式会社製、ポリエステルベース、ゲージ抵抗: 120 Ω) であり、静ひずみ測定器 SM-60 (共和電業株式会社製) 2台を用い、供試体軸に相対する1対のストレインゲージについて2枚ゲージ法によって測定した。

b) コンプレッソメーターによるひずみ測定方法

使用したコンプレッソメーターは RS1-625 (丸東製作所製) で、エクステンソメーター部を取りはずし精度 1/1000、測長 2 mm のダイヤルゲージを使用した。装着位置は ASTM C469 の試験方法に準ずるもので図-1に示す位置とした。

写真-1にはストレインゲージの接着状態、コンプレッソメーターの取り付け状況を示した。

c) 加圧盤間の変位測定方法

加圧盤間の変位測定方法は、図-2に示したように供試体上面と上加圧盤間に中継加圧盤を挿入し、これと下加圧

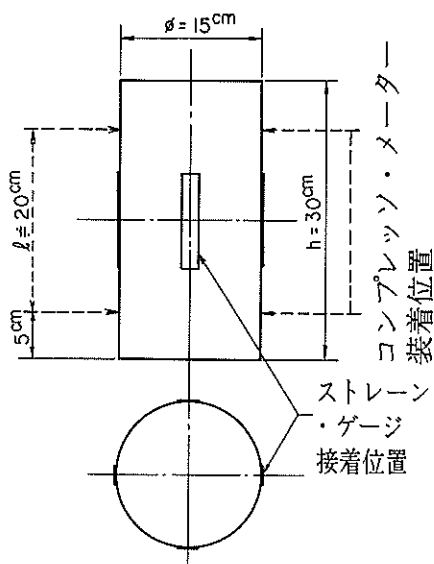


図-1 ストレインゲージ コンプレッション・メーター接装着位置

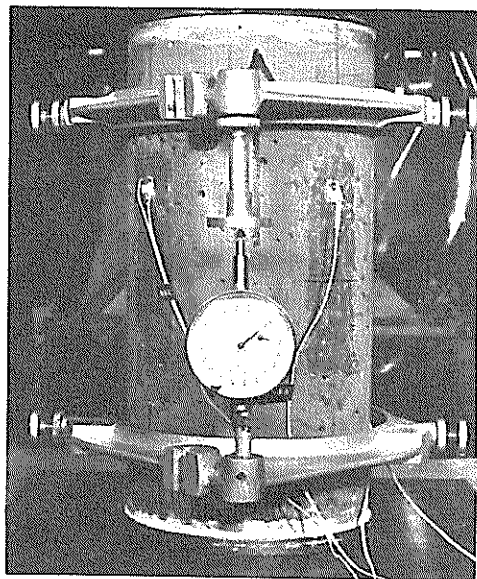


写真-1 ストレインゲージおよびコンプレッション・メーターによるひずみ測定状況

盤間の変位を精度 $1/1000\text{ mm}$ 、測長 2 mm のダイヤルゲージを用いて測定した。

(ii) キャッピング方法および載荷方法

ひずみ測定方法の比較検討に用いた供試体については本実験の場合と同一とした。

キャッピング材料の比較には $\phi 10 \times 20\text{ cm}$ の供試体について石膏とウッドメタルの2種類のキャッピングを行

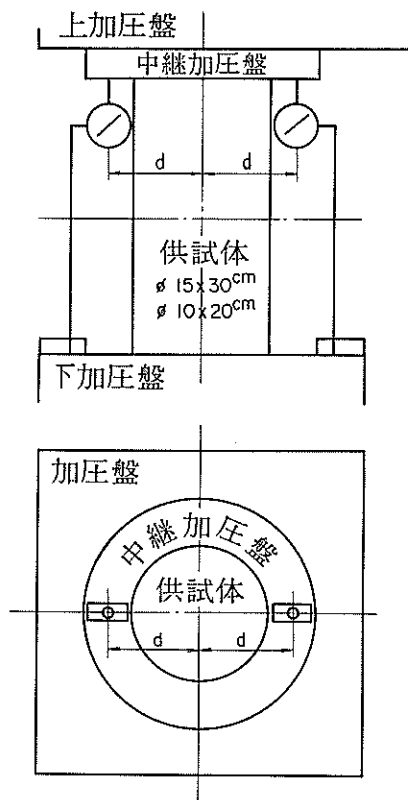


図-2 加圧板間の変位測定方法

なっている。

予備実験における載荷方法は、求める応力ひずみ線図が処女応力ひずみ曲線であるためブローディングは加えないものとした。載荷速度については $0.3\text{ kg/cm}^2/\text{sec}$ とし、連続載荷によるひずみを測定した。ひずみ測定時の荷重階の設定は破壊荷重の $1/2$ 程度で20点以上の測定値が得られるようにした。

圧縮載荷試験機は、 $\phi 15 \times 30\text{ cm}$ の標準供試体については200 ton 耐圧試験機を用い、 $\phi 10 \times 20\text{ cm}$ 供試体については20 ton 耐圧試験機を用いた。

3.3 ひずみ測定方法の検討

図-3には材令1日および2日の同一供試体についてストレインゲージ、コンプレッション・メーター、そして加圧盤間の変位によって求めた応力ひずみ線図を示す。

また、図-4には材令8日における $\phi 10 \times 20\text{ cm}$ の供試体について、ストレインゲージと加圧盤間の2種のひずみ測定方法による応力ひずみ線図の相違、ならびにキャッピング材料を石膏とウッドメタルとした場合の応力ひずみ線図を示した。

(i) ひずみ測定方法の検討

図-8および図-4によれば、ストレインゲージによる測定結果では良好な応力ひずみ線図が得られており、測定値のバラつきにおいても他の測定方法に比較して著しく少ない。

コンプレッションメーターによる測定方法では測定値にバラつきがみられ、ストレインゲージの測定値よりもこのバラつきは大きく現われる傾向がみられる。

また、加圧盤間の変位を測定する方法においては、得られる応力ひずみ線図が破壊応力付近まで直線的な増加をみせ、材令が若い場合にこの傾向は著しいようである。

コンプレッションメーターによって得られる応力ひずみ線図がストレインゲージによった場合に比較して低応力時からの立ちあがりが大きくなる原因としては、初

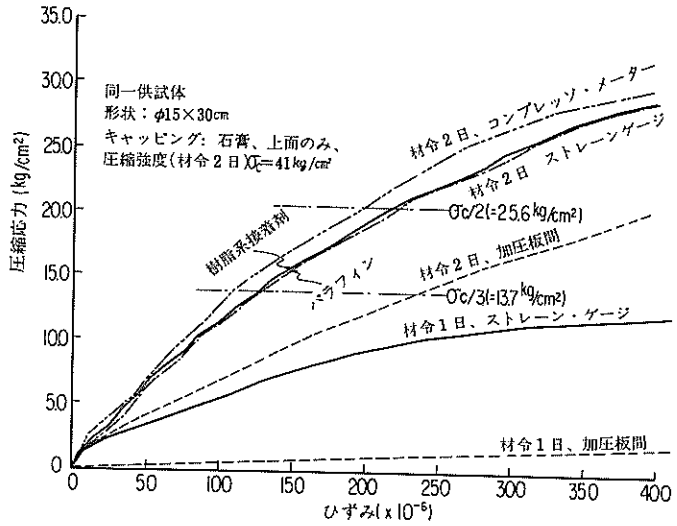


図-3 各種接着剤および測定方法の相違によるひずみ測定結果の比較

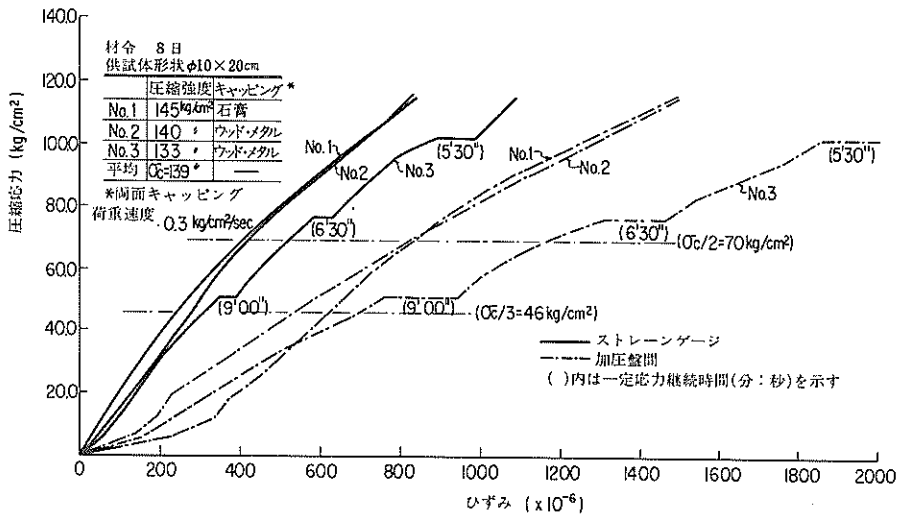


図-4 キャッピング材料および荷重荷荷方法がひずみ測定値におよぼす影響

期材令における供試体表面の硬化が十分でないことによるものと思われる。すなわち、コンプレッションメーターにおける変位検出部の抵抗が大きく、特に低強度、低応力時にはコンクリート供試体の変位がゲージ上に現われず、供試体表面に吸収されてしまうことが予想される。

加圧盤間の変位から求めた応力ひずみ線図がほぼ直線的なものとなる要因としては、初期材令におけるコンクリートの場合、加圧盤と供試体面の摩擦による拘束条件が、長期材令下におけるコンクリートに比較して著しく大きく

なってくることによるものと考えられる。そして、一方ではキャッピング材料のひずみをも測定値の中を含むものとなっているので、初期材令下のコンクリートのひずみ測定方法には必ずしも適切な方法とは言えないようである。

ストレインゲージの接着方法については、材令2日の供試体についてパラフィン溶着による方法と一般的に用いられている樹脂系接着剤による方法によって比較したが、図-3に示されるようにパラフィン接着法によっても樹脂系接着剤の場合と同程度のひずみに対する追従性を得ること

ができるようである。従って、この方法によれば材令1日程度の湿潤状態にある供試体についても容易にストレインゲージの接着が可能であり、また、供試体表面の強制乾燥を軽減することができるので試験片を傷つけることが少なくて済む。

(ii) キャッピング方法および載荷方法の検討

キャッピング方法については図-4に材令8日におけるφ10×20cmの供試体について石膏とウッドメタルの2種類の材料について比較したものを示すが、ウッドメタルに比較して、石膏を用いた場合にも良好な応力ひずみ線図が得られていることを考慮すれば、特に問題となるような傾向はみられなかった。

同図には、圧縮載荷時に荷重を停止させる場合のひずみの流れについても併せて示しているが、これによれば高応力となるほど一定応力を持続した場合のひずみの流れは大きくなる傾向がみられる。したがって、ひずみ測定時に荷重を停止しなければならないような測定方法は避けるべきである。

さらに、実験時の載荷速度はJIS A 1108に規定される載荷速度のおよそ1/10であるが、この影響についても考慮する必要がある、畑野⁷⁾の実験式によれば、JISにおける標準載荷速度の場合に比較して圧縮強度およびヤング係数は両者ともほぼ10%程度低下していることが予想される。

3.4 ヤング係数の測定方法

本章に述べた試験方法の検討から4章以後の本実験におけるひずみ測定方法は、以下に述べるものとした。

すなわち、ひずみ測定方法は同一供試体について、ストレインゲージによる方法とコンプレッションメーターによる方法を併用し、各測定方法については、3.2項で述べた方法と同一とした。

キャッピングはすべて石膏によるものとし、材令1日の供試体については上下両面キャッピングを行なって、さらにこの4時間経過後に試験に供した。2日以後の材令の供試体については、すべて上面キャッピングとし、キャッピング完了後24時間以上経過した後試験を行なった。

載荷方法については、処女応力ひずみ曲線を求めることを前提として、プレローディングを行なわないで、直接載荷時点からひずみを測定した。載荷速度は材令1日、2日および4日の供試体については0.15 kg/cm²/secとし、材令7日以後のものについては0.3 kg/cm²/secとして、連続載荷によってひずみ測定を行ない、そのまま破壊荷重を求め圧縮強度とした。

4. 圧縮強度とヤング係数

4.1 各種計算法によるヤング係数

一般に、載荷経歴のないコンクリートに対して一定の載荷速度で荷重を加え、その応力とひずみの関係を求めると図-5の応力ひずみ線図のモデルに示されるような、載荷の極く初期の段階から曲線形状を呈する応力ひずみ曲線が得られることはよく知られている⁴⁾。

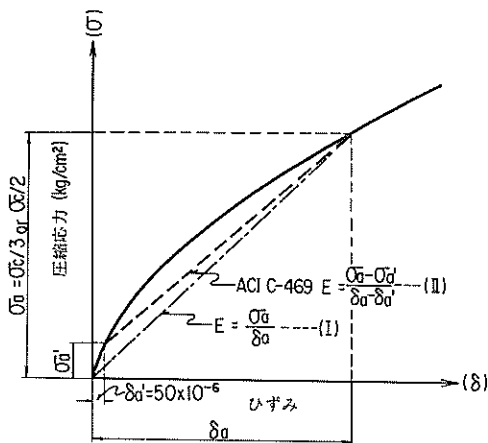


図-5 ヤング係数の定義

一方、本実験で対象とした材令1日から28日程度までの初期材令におけるコンクリートでは、上述のような傾向が若材令のものほど、より大きく現われてくることが図-6に示した本実験の処女応力ひずみ曲線の測定例からもうかがえる。

したがって、長期材令下のコンクリートに対して比較的非線形的傾向の大きな初期材令におけるコンクリートのヤング係数については、ヤング係数の計算方法、あるいは応力階の設定方法、ひずみ測定方法などについて検討する必要がある。

(i) ヤング係数の計算方法

本項ではヤング係数の計算方法についていわゆるセカントモジュラスによる方法と、ASTM C 469に述べられるところのコードモジュラスとして求める方法について検討した。

セカントモジュラスによってヤング係数を求める場合、図-5に示したところの次式(1)によって求め、ASTM C 469によるコードモジュラスを求める場合は同(2)式によった。

$$E = \frac{\sigma_a}{\delta_a} \dots\dots\dots (1)$$

δ_a は圧縮応力 σ_a に対する全ひずみ

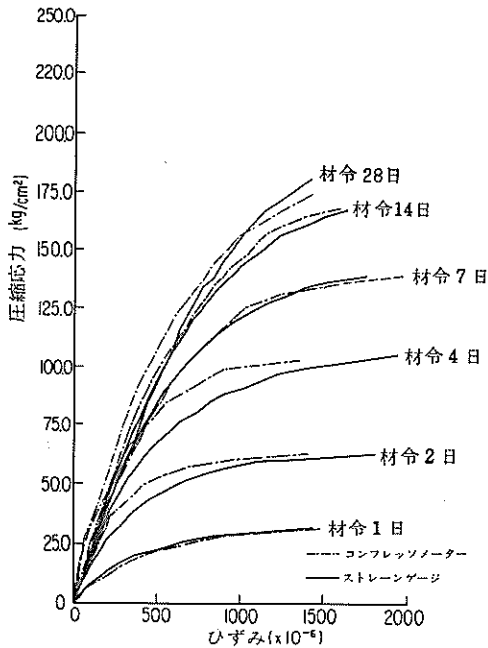


図-6 処女応力ひずみ曲線の実測例

$$E = \frac{\sigma_a - \sigma'_a}{\delta_a - (50 \times 10^{-6})} \quad \dots\dots\dots (2)$$

σ'_a はひずみ実測値が 50×10^{-6} のときの応力
 δ_a および σ_a については前式の場合と同一

ここで、本実験は ASTM C 469 に述べられている実験方法とは若干異なるので、実際には次式(3)によって求めた。

$$E' = \frac{\sigma_a - \sigma'_a}{\delta'_a - \delta'_a'} \quad \dots\dots\dots (3)$$

δ'_a はひずみ実測値が 50×10^{-6} に最も近い値とし
 σ'_a はこのときの応力

図-7 は、上述のセカントモジュラスと ASTM C 469 に準じた(3)式より求められるコードモジュラスとによって得られたヤング係数について、ストレインゲージおよびコンプレッションメーターによる測定方法を比較したものである。

これによれば、ストレインゲージによる測定方法では、いずれの計算方法によって求めたヤング係数も平均的にはほぼ一致したものとなっているが、コンプレッションメーターによる測定方法によった場合、コードモジュラスによって求めたヤング係数がセカントモジュラスに比較して相当程度低い値となるようであるが、バラつきが大きく明確な傾向をみることはできない。

また、ひずみ測定方法についても、コンプレッションメーターによる測定値の変動が大きく、測定法上の相関性は検討

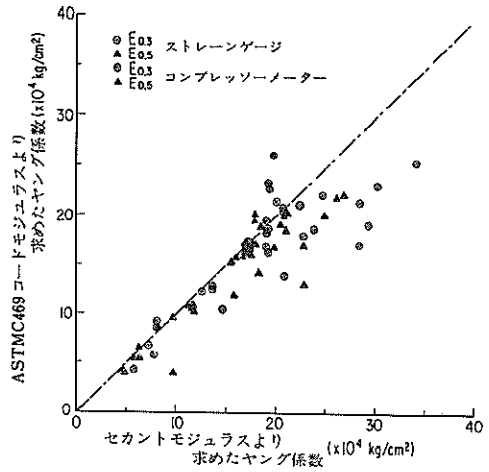


図-7 ヤング係数の計算方法とひずみ測定方法の比較

できないものとなっている。

以上の点より初期材令におけるコンクリートのヤング係数は、ストレインゲージによる測定によることが望ましく、この場合セカントモジュラスによって実用的なヤング係数を求めることができる。また、コンプレッションメーターによるひずみ測定方法はストレインゲージによる測定方法に比較して、その信頼度が劣ると結論づけられるであろう。

応力階の相違によるヤング係数の変化については、図-8に示した。これによれば、応力階を0.3 および0.5 とした場合ヤング係数の増大に従ってその変化率は減少することが予想されるが、初期材令におけるコンクリートの場合応力階を0.3と0.5 にとったときのヤング係数の差は、ほ

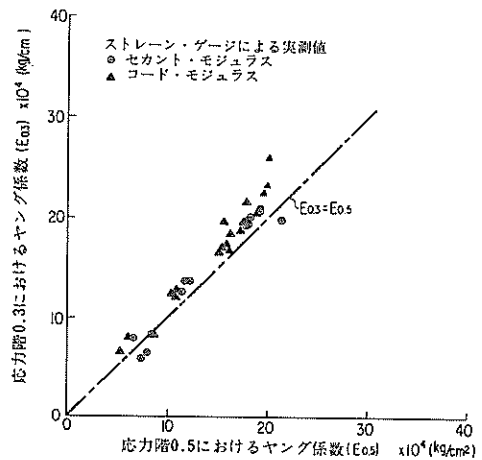


図-8 応力階の相違によるヤング係数の変化

は $0.1 \times 10^5 \sim 0.15 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 程度とみなすことができるようである。

4.2 材令とヤング係数

図-9には本実験の結果について材令とヤング係数の比較を示した。本図によれば、圧縮強度の増加率がほぼ2次関数的に一定であるのに対して、ヤング係数の増加率は、材令7日程度までの場合、圧縮強度と同様な増加傾向を示す。しかし、材令7日以後のヤング係数の増加傾向についてはこのような傾向は得られないようである。

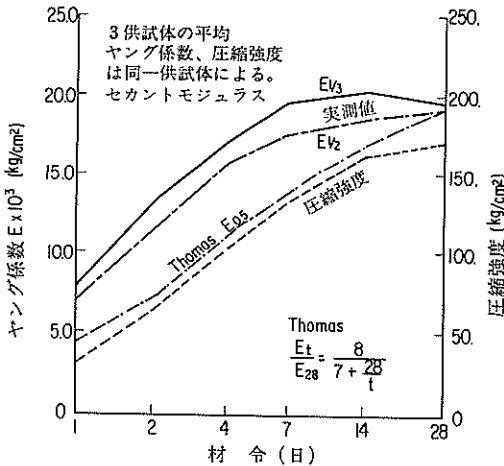


図-9 材令によるヤング係数の変化

本図には Thomas²⁾ による、普通コンクリートについて標準養生とした場合の材令2日から28日に至るまでの初期材令におけるコンクリートのヤング係数と材令についての実験式による推定値も併せて示している。

Thomas によれば、材令 t 日におけるコンクリートのヤング係数 E_t は、材令28日におけるヤング係数 E_{28} に対して次式(4)の関係が得られたとしているが、本実験の結果より求められたヤング係数に比較して若干低い値を示すようである。

$$\frac{E_t}{E_{28}} = \frac{8}{7 + \frac{28}{t}} \dots\dots\dots (4)$$

Thomas の試験条件、養生方法、コンクリートの圧縮強度、ヤング係数の測定方法などが、本実験の場合と相違しており、これらが、特に材令7日以後のヤング係数の増加率に本実験結果との符号性を示さぬ一因であると思われる。

しかし、材令1日から7日程度までのヤング係数の増加傾向については、ほぼ同様なものとなっていることがうか

がえる。

4.3 圧縮強度とヤング係数

長期材令におけるコンクリートのヤング係数に関しては、圧縮強度との関係によって検討がなされている⁴⁾。コンクリートのヤング係数が著しく圧縮強度の影響を受けるものであると考えられるからであり、また、実用上、圧縮強度との関係でとらえることが望ましいことの理由によるものと思われる。

しかしながら、従来の研究者の報告には、実験方法あるいはヤング係数の測定方法および取扱方法に、十分に適切でない点のみうけられるものも少なくない。

図-10には、圧縮強度とヤング係数について、本実験と試験条件の比較的良く一致した既往の研究、および各国の規準に述べられている関係式を图示した。材令1日から28日程度に至るヤング係数を検討した研究例は、材令28日程度を対象とした実験例に比較して試験例が少ない。一方、初期材令におけるコンクリートを低強度コンクリートとみなし、圧縮強度とヤング係数の関係としてとらえるにしても、このような場合に対する各国の規準においては適用範囲外のものとなっており、既往の研究についても対象としているものはきわめて少ない。

本実験の実測値より求めたヤング係数について、圧縮強度との関係を図-10に併せて示した。

近藤、小早川は、標準養生を加えた材令1日から28日に至る $20 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ の圧縮強度の普通コンクリートについて、圧縮強度と処女応力ひずみ曲線を検討し次式(5)を提案している。すなわち、圧縮強度 σ_B に対する応力 σ を n (応力階) として、 $n = \sigma/\sigma_B = 0.1, 0.2, \dots, 1.0$ とした場合のヤング係数 (セカントモジュラス) E_n は

$$E_n = \frac{\sigma(n)}{\delta(n)} = \frac{n \cdot \sigma_B}{P(n) + Q(n)\sigma_B} \dots\dots\dots (5)$$

$P(n), Q(n)$ は係数

近藤、小早川の提案する圧縮強度とヤング係数に関する双曲線式は、材令7日に至る初期材令において、本実験結果と比較的良く一致するようである。しかし、圧縮強度が 100 kg/cm^2 を越えた場合については、近藤、小早川の提案式によるヤング係数よりも減少する傾向がみられる。これは、前述したように圧縮強度の増加傾向とヤング係数の増加傾向が、材令7日以後においては一致しなくなるためと思われる、養生方法の相違による影響が考えられる。

しかし、傾向的には、先に述べたような点から、本実験の範囲内でも初期材令におけるコンクリートのヤング係数は経時変化をも含めて圧縮強度との関係でとらえることができるものと考えられる。

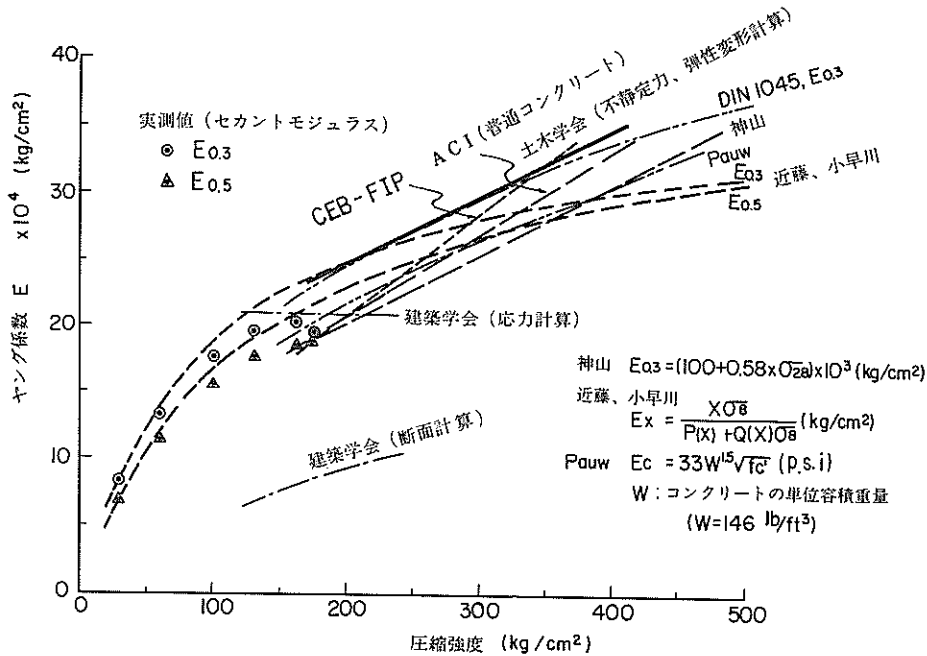


図-10 圧縮強度とヤング係数の関係

5. むすび

本実験では、材令1日から28日に至るまでの普通コンクリートについて、ひずみ測定方法およびこれに関するヤング係数の計算方法を検討し、さらに、港湾構造物によく用いられる配合のコンクリートについて処女応力ひずみ線図を求め、初期材令におけるコンクリートのヤング係数について考察した。

本実験では、その範囲が極く限定されたものであり、測定値の絶対数も少ないので、本実験の結果より結論を求めることは困難である。

しかし、実用性を考慮した場合、本実験の範囲内では次のような点が傾向的なものとして言い得るものと思われる。

(1) 初期材令におけるコンクリートの処女応力ひずみ曲線を測定する場合、ストレインゲージによって求めることが望ましく、比較的高精度の測定値を得ることができる。

(2) 材令1日あるいは2日程度の湿润状態における試験片については、パラフィン溶着法によってストレインゲージを接着しても十分に追従性が得られる。

(3) 初期材令におけるコンクリートのヤング係数は、経時変化をも含めて、圧縮強度との双曲線関係式で表わすことは、妥当性を有すると思われる。

ヤング係数について厳密に言うならば、圧縮強度以外にも材料の品質、配合、養生条件等の影響を受けるものと思

われ、また、初期材令におけるコンクリートの場合、その応力ひずみ曲線は、ひずみ測定方法、キャッピング材料、載荷方法などの試験方法によっても大きく影響を受ける。したがって、初期材令におけるコンクリートのヤング係数については、試験方法を明確に規定する必要があるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 近藤基樹、小早川洋太郎、“初期コンクリートに関する圧縮応力ひずみ関係式について”日本建築学会論文集、No.85, pp.1~7, 昭和38年5月
- 2) T.W.Thomas, “Modulus of Elasticity of Concrete at Early Ages” Journal of A. C. I., Vol.32, No.7, pp.854~856, Jan. 1961
- 3) 笠井芳夫、横山 清、“コンクリートの初期材令における圧縮応力度とひずみ度との関係”コンクリートジャーナル、Vol.9, No.2, pp.1~12, 昭和45年2月
- 4) 近藤泰夫、坂 静雄、“コンクリート工学ハンドブック”朝倉書店、昭和40年10月
- 5) Herbert E. Worley, Richard C. Meyer, “Development of a Cell for the Installation of Electrical Resistance Strain Gage

in Concrete" Journal of A.C.I., Vol.25,
No.2, pp.121~135, Oct.1953

6) ASTM Designation C 469-65,
"Method of Test for Static Young's
Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio
in Concrete Specimens"

7) 畑野 正、"コンクリートの静的圧縮変形、破壊に
対する時間効果" 土木学会論文集、第70号、pp.32~

39, 昭和35年9月

8) 神山 一、"鉄筋コンクリート"、コロナ社、
318 pp., 昭和36年12月

9) A. Pauw, "Static Modulus of Elasti-
city of Concrete as Affected by Density"
Journal of A.C.I., Vol.57, No.6, pp.679
~687, Dec.1960

港湾技研資料 No. 143

1972・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.