

[30] 新 型 応 力 計 に つ い て

正会員 ○ 田 沢 栄 一 (大 成 建 設)

飯 田 一 彦 (大 成 建 設)

1. ま え が き

従来、コンクリートの内部応力はひずみの計測値に弾性係数を乗ずることによって求められて来た。この方法では、コンクリートの弾性係数を正確に知ることが前提となる。しかし、一般にコンクリートの弾性係数が材令と共に大きく変化すること、クリープひずみと弾性ひずみの分離が困難なこと、含水状態の変化によっても弾性係数が変わること、計測対象物の弾性係数を現位置で測定する適当な方法がないこと、などの理由により、弾性係数の設定には精度上の限界があり、応力の推定も当然の事ながらこの精度にしばられてきた。また、乾燥収縮や温度変化に伴う変形が拘束された時に生ずる応力に対しては、上記の応力測定法は原理的に適用が困難であった。そのためコンクリートの内部応力を直接計測することを目的とした有効応力計が種々考案され、一部で試用されて来た。液体密封方式の有効応力計は引張応力の計測に問題があり、計器の寸法や取扱いの煩雑さに欠点があった。これに替って小型のロードセルを内蔵する型式のものが一部で市販されているが、その精度については一般に認められていないのが現状である。

本報告はロードセル型式の有効応力計について、従来型と改良型とを比較し、無筋コンクリートの乾燥収縮応力の実測によって、改良型の精度が優れていることを示す。

2. 実験に使用した応力計の構造

従来型の有効応力計は写真-1に示すように、両端に引張応力伝達機構を有する円形のプレートに有し、このプレートの片方にロードセルが装着されている。ロードセルは引張・圧縮共に測定可能で、抵抗線ひずみ計を用いている。両端の円形プレート間は水分移動可能な応力絶縁ケースでつながれている。ケース内に外部のコンクリートと同じコンクリートを充填することにより、ゲージの弾性係数を試験体の弾性係数とほぼ等しくすることが特徴である。しかし、この従来型の構造には次のような欠点があった。すなわち、

- (1) 水分移動可能にする鉄板の開口率が約24%と小さく水分の移動が外部のコンクリートに比べ遅くなる。
- (2) 両端部のプレートによって、ゲージ近傍の応力場がみだされる。
- (3) ロードセルを端部のプレートに剛結しているため、プレートにかかる軸力以外の応力成分の影響を受ける。

改良型のものを写真-2、3に示す。改良型はⅠ型、Ⅱ型共にロードセルを応力絶縁ケースの中央部に配置し、両端の円形プレートを省略した構造になっている。したがってゲージ内に充填するコンクリートは両端において、外部の被測定コンクリートと連続することになる。Ⅰ型とⅡ型とではケースの構造が異っている。Ⅰ型は従来型のケースを写真-2に

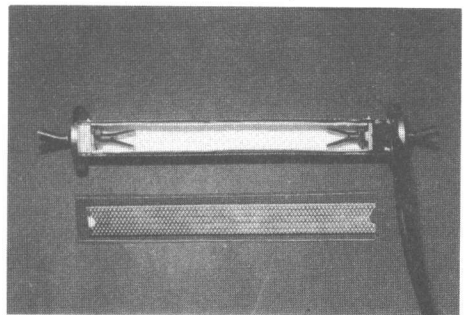


写真-1 従来型応力計

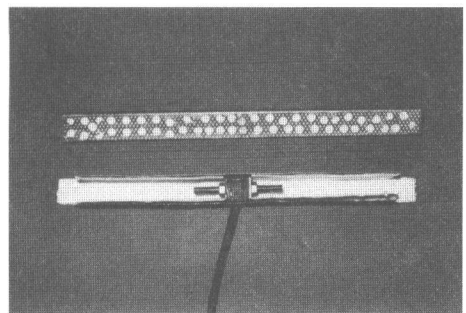


写真-2 改良-Ⅰ型応力計

示すように、加工したもので、鉄板の開口率を約60%としたものである。改良Ⅱ型は開口率90%以上の金網を使用している。コンクリートとゲージの絶縁には紙を使用した。従来型は、ケースの内外面を紙で絶縁したが、改良型では、ケースの内面の紙のみを使用した。改良型ではロードセルの両端に引張力伝達機構を設けた。また改良型のケースの両端は端部における応力集中を避けるため、ケース側面と上下面を同一面で切断せず、若干ずらしてある。ロードセル測定用のリード線はキャプタイヤコードを用いケース側面から取り出した。

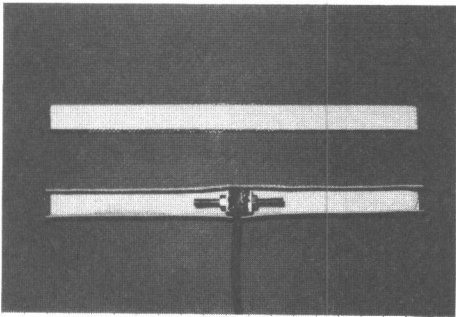


写真-3 改良Ⅱ型応力計

3. 実験方法

図-1, 2に示すように、 $200 \times 100 \times 600\text{mm}$ のコンクリートブロックを作成し、応力計、ひずみ計を埋設した。コンクリートは 20°C 80% R.H.の室内で打設した。材令1日で脱型後ただちに水中硬化型エポキシ樹脂でシールし、 $600 \times 100\text{mm}$ 以外の面から乾燥しないようにした。表面のひずみをコンタクトストレンゲージで同時に測定した。

供試体はシール後、材令7日まで 20°C 恒温槽で水中養生をおこない、以後 20°C 60% R.H.の室内に放置して各ゲージに生ずる変化量を測定した。

コンクリートはN社製普通ポルトランドセメント、大井川産の川砂、川砂利を用い、表-1の配合のものとした。

乾燥供試体と同時に $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 供試体を作成し、材令1日から28日までの圧縮強度、弾性係数、引張強度を測定した。

ひずみ計TS社製埋込型ひずみゲージKM-100T、応力計TE社製GK-100-202およびその改良型を使用した。

4. 測定結果

図-3～5は乾燥開始後8日間までの応力計の実測値を、従来型、改良Ⅰ型、改良Ⅱ型についてそれぞれ示したものである。応力計の原点はコンクリートの打設直前にとってある。応力計に出力変化が生ずる時点はひずみ計の連続測定から求めたコンクリートの硬化推定時期にほぼ一致する。脱型時、水中浸せき時、乾燥開始時いずれの場合も、各ゲージは定性的には理論上予想される方向に応力の変動を示している。中央部と表層部では逆の動きを示し、これら環境の変化に応じ、コンクリート内部の応力状態が微妙に変化することを示唆している。しかし、図-3, 4, 5を比較すると図-4, 5の測定値が酷似しているのに比べ、図-3は表層に入れたゲージが圧縮応力側に偏った形状を示している。このような偏りは断面内に生ずる力の釣合いを考慮して導かれる理論上の要請から明らかにはずれている。ゲージの寸法が実際に生ずる局所的な応力分布を追跡するには大きすぎる事を考慮しても、図-4, 5に比べ、図-3は実際の応力分布とかけ離れているものと見なすことができ

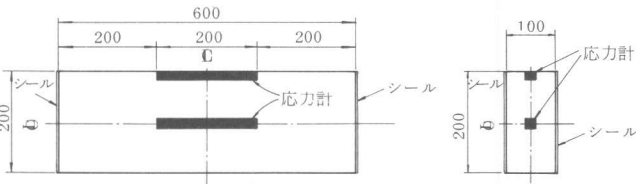


図-1 応力計の配置

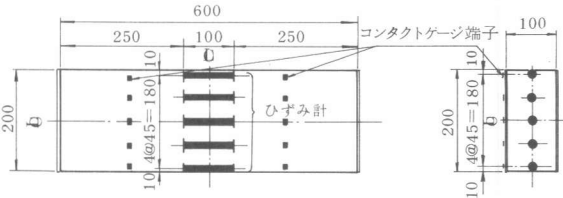


図-2 ひずみ計の配置

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	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 ポリス Na ₈
25	12±25	3±1	5.0	4.2	165	330	773	1092	825 ^{cc}

よう。

図-4,5についても、乾燥開始後2日間のデータは若干圧縮側に偏っている。これは応力絶縁に用いた紙の吸水量がコンクリートより大きいため、ゲージ内のコンクリートの乾燥が遅れ気味になることなどが関係しているものと思われる。

図-4,5より明らかなように乾燥収縮は断面内で相当量が拘束を受けており、鉄筋などの外的な拘束がなくても $\pm 15\text{kg/cm}^2$ 程度の応力が厚み20cmのコンクリートの中央部と表層部に生ずる。しかもこの応力は乾燥材令8日ではまだ若干増加の傾向にある。この種の応力の存在は従来コンクリートの曲げ強度が乾燥開始直後大きく低下することなどから、ほぼ確実視されていた。今回応力計を用いたこの計測により、初めてその存在が図-4,5などにより確認された。

長¹⁾の曲げ強度による推定では、乾燥3日目程度から強度が回復はじめるので、乾燥応力も減少するものと考えられていたが、この実測のように乾燥による断面内の応力は乾燥後8日後でも一向に減少していない。曲げ強度では乾燥により生じた応力と乾燥そのものによる材料強度の変動の相互作用の結果を測定していたのではあるまいか。ちなみに圧縮強度は乾燥によって増加することが認められている。コンクリートの表面付近と中央部に生ずるこの種の元応力は、曲げ強度のみならず、圧縮やせん断などによるコンクリートの力学的性質に大きな影響を与えていることが予想される。 15kg/cm^2 と言う引張応力の大きさは、コンクリートの引張強度に近いオーダーの値である。

図-7は図-2の供試体について乾燥収縮ひずみを求めた結果を、乾燥材令ごとに示したものである。白丸が実測値、黒丸は

計算で求めた仮想値である。電気抵抗線ひずみ計で求めた実測値を図-7にプロットしてあるが、表面に張りつけたコンタクトゲージによる測定値もほぼ同様の傾向を示した。両者の相関は図-7に示すように極めて強いものである。この図から明らかなように、従来表面に近いほど大きくなると言われていた乾燥収縮は実際には表面からある深さ入った位置で最大になると言う実測結果となった。この傾向は乾燥材令3日から14日ま

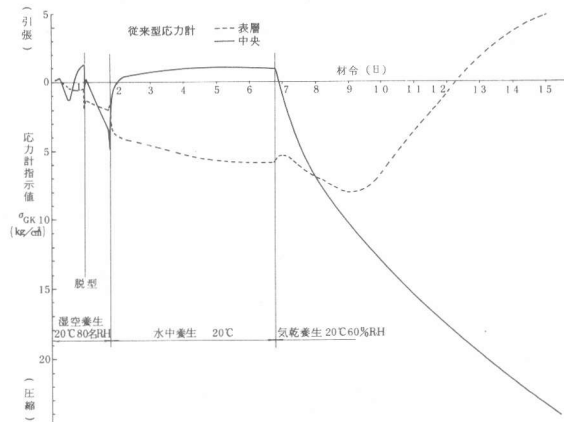


図-3 従来型応力計による測定値

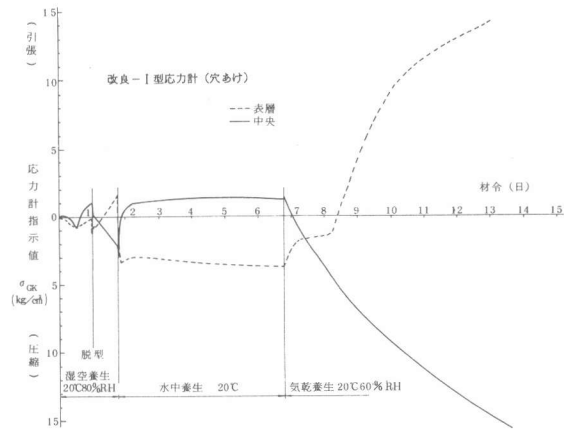


図-4 改良Ⅰ型応力計による測定値

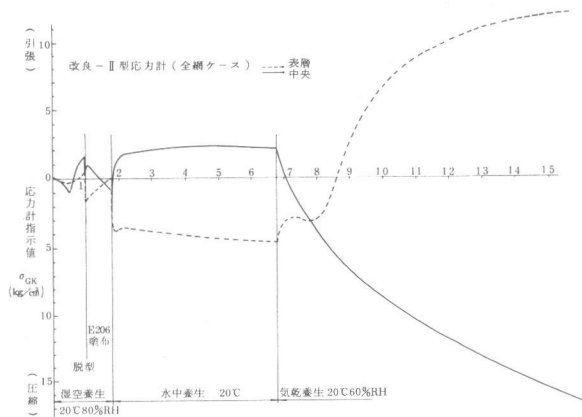


図-5 改良Ⅱ型応力計による測定値

で定性的に同一で、乾燥材令に対しては乾燥収縮の平均値が増すのみで、平行移動に近い変化を示している。図中の点線は図-4, 5 から内部に生じている応力が表面と中央部で既知であるので、各材令ごとに求めた弾性係数を使って、応力が解放された時の弾性もどりを考慮して求めた真のひずみ分布である。表面から 5.5 mm の位置のゲージは元応力 0 と仮定して実測値をそのまま用いている。このひずみ分布を用いると表面から中央に向かって収縮ひずみの連続的な分布が求まる。またこの図で、乾燥材令 3

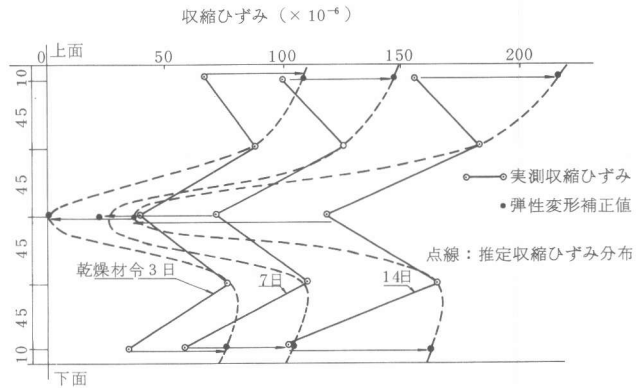


図-6 乾燥収縮ひずみの断面内分布

日の中央点の収縮ひずみは、弾性もどりによる補正をすると収縮ひずみ 0 となる。つまり材令 3 日で中央点に生ずる収縮ひずみは、表面に引張応力が生ずることの反力として内部に生ずる圧縮応力に対応する弾性ひずみだけである。乾燥材令によって差はあるが、収縮ひずみの相当量が弾性的に生じている。この事は鉄筋や構造躯体などの外的な拘束によって生ずる乾燥収縮応力を考慮する際に重要な事実となろう。

5. 結 言

- (1) 従来型の有効応力計は図-3, 4, 5 の比較から明かなように乾燥収縮応力の測定には適していない。改良型 I 型, II 型の測定値はよく傾向が似ており、ゲージ構造を変化させた効果が顕著に認められる。ただし改良型についても、乾燥初期における表面位置のゲージの挙動、長期にわたる計測精度など、今後になお若干の検討を要する。
- (2) 無筋コンクリートについても、内部と外部の乾燥の相違により、かなり大きな元応力が生じている。図-4, 5 の実測結果から、20 cm 厚の部材について乾燥材令 8 日までに約 $\pm 15 \text{ kg/cm}^2$ の応力が生じた。
- (3) 乾燥収縮ひずみは表面から内部に、単純な分布を示すのではなく、図-6 に実線で示したように表面からある深さの位置で最大となる。応力計の値から弾性もどりを計算すると仮想点は従来から指摘されていた分布に近い形状を示す。
- (4) (3)の実験事実から、乾燥によって生ずるコンクリートの実際のひずみ分布は、断面全体の応力の釣合いで定まってくるものと考えられる。したがって、断面内の位置によっては、弾性的に貯えられているひずみが存在する。鉄筋などの補強材が乾燥収縮の拘束に及ぼす影響を考慮する際には、収縮ひずみの弾性成分・非弾性成分を考慮する必要が生じて来よう。コンクリートの形状や乾燥の条件との関係もあり、極めて複雑である。

参考文献

- 1) 長滝重義, "コンクリート, 特に舗装用コンクリートの乾燥収縮応力に関する基礎研究," 東京大学工学部土木工学科, 論文集録第 1 輯, No. 6405
- 2) 椎名国雄, "コンクリートの内部湿度と変形," コンクリートジャーナル, 1979 年 6 月, Vol. 7, No. 6 p. 1 ~ 11,
- 3) 吉岡保彦ほか, "マッシブな部材中の不均一収縮によるひびわれ例," コンクリート構造物のひびわれに関するシンポジウム, コンクリート工学協会, 昭和 52 年

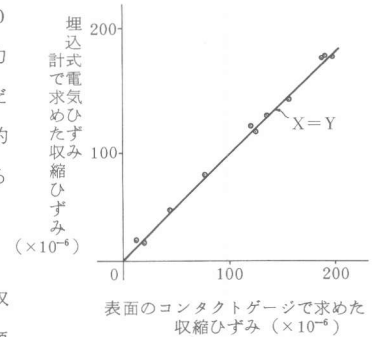


図-7 コンタクトゲージと電気抵抗線ひずみ計の相関