

コンクリート構造物の現存応力の測定法に関する研究

STUDY ON A MEASURING METHOD OF EXISTING STRESSES IN A CONCRETE STRUCTURE

加藤暢彦*、金田昌治**、園田恵一郎***

Nobuhiko KATO, Masaharu KANEDA and Keiichiro SONODA

* ショーボンド建設(株) 西日本技術センター

** ショーボンド建設(株) 西日本技術センター

*** 工博 大阪市立大学工学部土木工学科 教授

The paper presents a stress release method to determine an existing stress intensity within a concrete structure. The method is executed by cutting a narrow circular groove surrounding a relevant point and measuring the stress variation of the point. Both experiments and numerical analyses are carried out to find an appropriate depth of the groove. As consequence, it is known that the appropriate depth(S) is 0.33ϕ , ϕ =diameter of the groove, for case of strain gauges of 20mm long used. The stress intensity is calculated by the strains and the elastic modulus measured using Hooke's law. The method presented here may be effective for a soundness estimation of used concrete structures or repair and strengthening design of them.

Key Words: existing stress, release method, strengthening design

1. はじめに

戦後、膨大なコンクリート構造物が建設されてきた。これらの構造物の維持管理を適切に行い、できるだけ寿命を延ばしこれらの社会的財産を守ることが重要である。構造物の現状を把握するための点検手法の確立が望まれており、ここではこれらの点検手法の内、応力測定に着目して考察を加える。

構造物に発生する応力調査は、通常、試験車等による静的または動的載荷を行い、その時のひずみを測定することにより行われている。しかし、この方法では増加荷重によって生じる応力を求めることができるが、死荷重やプレストレスによりあらかじめ発生している応力を把握することはできない。

現存応力を定量的に把握することができれば、現状構造物の安全度を把握すること、および当構造物の補強設計を適切に行うことが可能になり、この意義は大きいものと思われる。補強工法には、増載荷重に抵抗する鋼板接着工法、CFRP補強工法や現状荷重をも強制的に抵抗する外ケーブル工法等がある。後者の補強工法については補強しすぎると構造物を壊してしまう危険性を伴うため現存応力を把握しておく必要がある。

そこで、コンクリート構造物の現存応力を推定する手法として応力解放法を提案し、当手法のコンクリート構

造物への適用性を確認するための実験、および解析を行ったので報告する。ここで提案する方法はコンクリート構造物の表面に部分的に溝を入れ応力解放することにより、その構造物の現存応力を推定するものである。当手法を確立することによりコンクリート構造物の応力状態を簡便に把握することが可能になり、コンクリート構造物の信頼性の確認、また補修・補強設計が容易に行えるものと思われる。

2. 既往の応力解放法

文字通り、応力を解放することによって応力解放前の応力を捕らえようというものである。金属等の材料の残留応力の測定ではよく使われている手法である。以下、当手法について説明を加える。

図-1に手法を示した。¹⁾ 3個のひずみゲージを 120° 傾けて貼り付けし、その後その中心に孔を開けてひずみ ε_0 、 ε_{120} 、 ε_{240} を読みとる。そして(式. 1)により主応力 σ_1 、 σ_2 を求めるものである。

主応力の方向がわかっている場合は図-2のように主応力 x 、 y 方向にひずみゲージを貼り、これを切り出すことにより生じたひずみ ε_x 、 ε_y を求め、(式. 2)で切り出す前の応力 σ_x 、 σ_y を求める。¹⁾

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= E\{A/(1-\nu) + B/(1+\nu)\} \\ \sigma_2 &= E\{A/(1-\nu) - B/(1+\nu)\} \end{aligned} \right\} \dots\dots (式. 1)$$

$$A = E(\varepsilon_{00} + \varepsilon_{120} + \varepsilon_{240})/3$$

$$B = \sqrt{2/3} \times \sqrt{(\varepsilon_{00} - \varepsilon_{120})^2 + (\varepsilon_{120} - \varepsilon_{240})^2 + (\varepsilon_{240} - \varepsilon_{00})^2}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= E(1-\nu^2)^{-1}(\varepsilon_x - \nu \varepsilon_y) \\ \sigma_y &= E(1-\nu^2)^{-1}(\varepsilon_y - \nu \varepsilon_x) \end{aligned} \right\} \dots\dots (式. 2)$$

これらの方法は、部材を完全に切断するものであり、大型コンクリート構造物に適用するには多大な労力を要し、また構造物の機能を完全に損なうものとなる。

また、トンネル構造物において岩石にかかっていた応力を求める方法として図-3の方法が提案されている。^{2) 3)} これは、ボアホールの底面に3方向のひずみゲージを貼り付けた後、ボアホールをさらに穿孔して応力を解放するものであるが、適用に当たっては応力を解放するための深さ等、明確にする必要があるものと思われる。

3. 提案する応力解放法

当手法は、前述の方法と同様に構造物にあらかじめひずみゲージを貼り付けておき、その周辺を部分的に円形に溝を切ることにより応力を解放し、現存応力を推定するものである。円形に溝を切りその中心部の表面ひずみを測定するので、境界条件を一定に決めることが可能となり、構造物によるばらつきが無くなるものと思われる。着目点の応力は、溝が深くなるにつれて徐々に解放するため、その応力が完全に解放する深さを決定することにより現存応力を推定でき、もし、溝の深さが浅ければ構造物に与える損傷が僅かなため、現存応力の測定が可能になる。

これに対し(式. 1)、(式. 2)の方法は、前述のように部材を完全に切断しなければならないだけでなく、前者は部材毎に境界条件を変えなければならないこと、また後者は主応力の方向がわかっている場合に限定されるという短所がある。

4. 解析方法および実験方法

解析は、三次元有限要素法線形解析により行った。プログラムはMARCを使用した。解析モデルを図-4、図-5および表-1に示した。

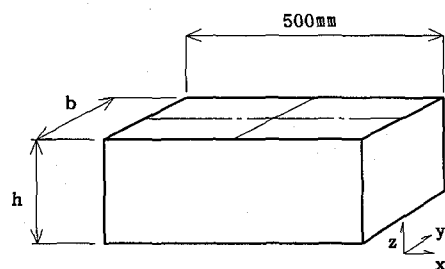


図-4 モデル全体図

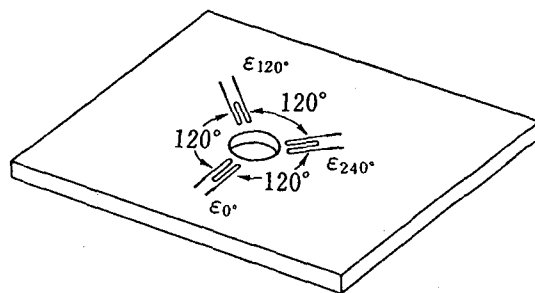


図-1 応力解放法(金属等)

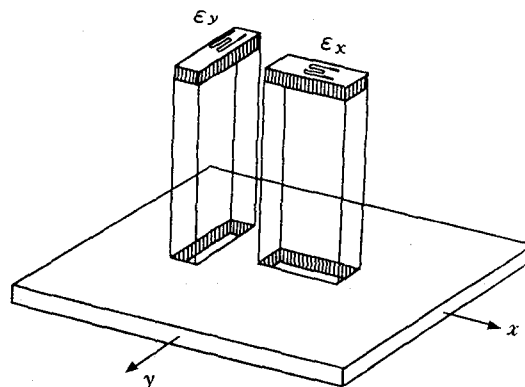


図-2 応力解放法(主応力方向既知)

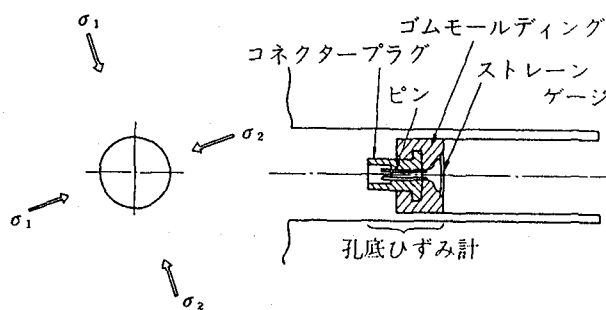


図-3 応力解放法(トンネル岩石)

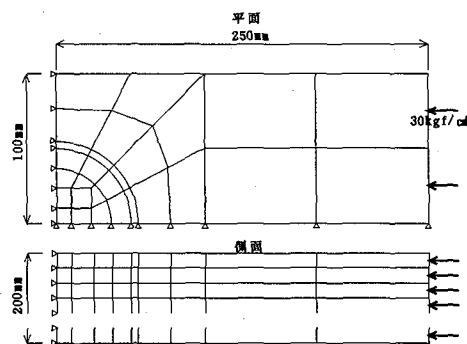


図-5 解析モデル(No.①モデル)

No.①～④はコアカッター径が同じでモデルの形状(大きさ)を変えたものであり、No.①、⑤、⑥はモデルの形状を統一して、コアカッター径を変えたものである。図-4のモデルの左右両方向より30kgf/cm²の等分布荷重を載荷した後、図面上方向からモデル中心部にφ100mm、幅5mmの溝を深さを変えて切り、それぞれについて上面中心部のx方向応力を計算した。

図-6に実験方法を示した。この供試体は、No.①モデルと同じ形状(200mm×200mm×500mm)とした。供試体中心部に設けたφ20mmの貫通孔にφ17mmのP C 鋼棒を挿入し、25mm厚の鋼板を介して12tfの軸力を導入した。これは、30kgf/cm²の等分布荷重を載荷したことに相当する。その後、供試体上面中心部にφ100mmのコアカッター(歯幅5mm)により、10mmずつの溝切りを行った。この際、供試体上面中心部にひずみゲージを貼り付けておき、それぞれの溝深さ毎にひずみを測定した。ひずみゲージは、主応力の方向を確認するためロゼットゲージとした。

供試体は最大粗骨材寸法20mmのコンクリートにより作製した。ひずみゲージのリード線はコンクリート打設前にコアカッターの歯を十分に避けて埋め込んでおり、後から設置したゲージベースと結線した。ひずみゲージは一般的に最大粗骨材寸法の2～3倍程度の長さのものが必要であるといわれているが、今回の試験は傾向をつかむことが最大目的であること、あらかじめ埋め込んだリード線との位置関係、また、コアカッターを使用する時大量の水を供給するためひずみゲージの防水処理を入念に行う必要がある等の物理的原因により、やむをえずひずみゲージ長さを20mmとした。

また、軸力導入時の偏心の程度を確認する目的で各面にひずみゲージを貼り付けた。

写真-1に供試体を、写真-2に実験状況を示した。

表-1 解析モデル諸元

No.	コアカッター径(mm)	b(mm)	h(mm)
①	φ 100mm	200	200
②	φ 100mm	400	200
③	φ 100mm	200	400
④	φ 100mm	400	400
⑤	φ 60mm	200	200
⑥	φ 40mm	200	200

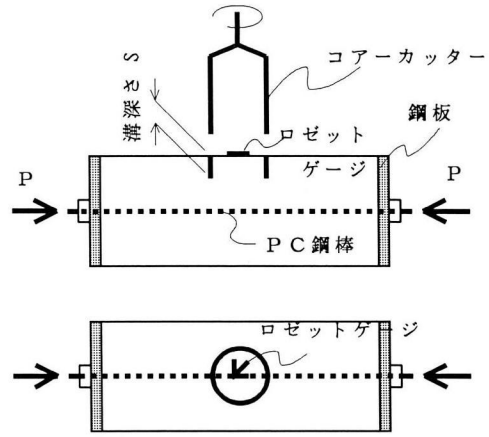


図-6 実験方法

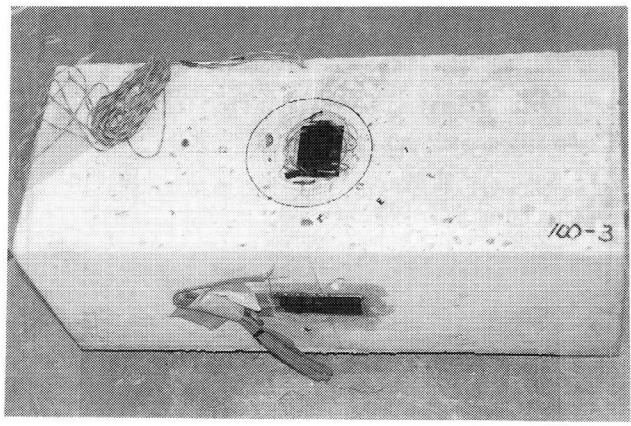


写真-1 供試体

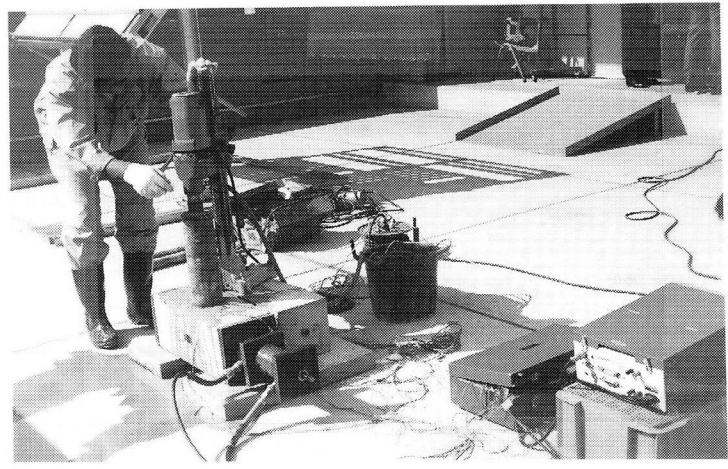


写真-2 実験状況

5. 解析結果、および考察

図-7、8、9に解析結果を示した。この際、コンクリートの弾性係数 $E_c=300,000\text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=1/6$ とした。また、数値はひずみゲージ長に合わせ、中心部20mmの範囲を加重平均した。横軸を溝深さ $S(\text{mm})$ 、縦軸をモデル上面中心部のx方向応力 σ_x としてグラフにしたものである。溝の深さ S が大きくなるにつれ、当初導入されていた圧縮応力 $\sigma_x(-30\text{kgf/cm}^2)$ は徐々に解放され、完全に解放された後も更にその傾向は続き引張応力が発生するようになる。その引張応力は最大値を向かえた後、徐々に減少し、最終的には無応力状態になる。

図-7は、コアカッター径を $\phi 100\text{mm}$ に固定して、モデルの大きさを变化させたものである。応力解放の程度は溝深さ S のみにより決定され、構造物の大きさには左右されないことがわかる。応力が完全に解放される溝深さは、33mmであった。

図-8は、モデルの大きさが同じものでコアカッター径を100mm、60mm、40mmに変化させて比較したものである。コアカッター径が小さいほど、応力が解放する溝深さが浅くなっている。

図-9は、 $100 \times S/\phi$ (S :溝深さ、 ϕ :コアカッター径)により、横軸を無次元化したものである。この時の横軸は、 ϕ を100mmにした時の溝深さに相当している。コアカッター径により換算したことにより、図-8のデータがほぼ一本の線上にのっていることがわかり、応力解放の程度は S/ϕ により決定されている。この結果、コアカッター径を小さくすることにより溝切り深さも少なくできるため、実構造物への適用も容易であり、構造物に傷をつけることが少なく、また、作業に費やす労力も少なく済ますことができる。

以上より、現存応力は長さ20mmのひずみゲージを使用する場合は $S/\phi=0.33$ 程度になるように円形に溝を切ることにより推定することが可能であると思われる。例えば $\phi 40\text{mm}$ のコアカッターを使用するならば、 $S/40=0.33$ より $S=13.2\text{mm}$ 程度溝を切ってひずみを測定した後、ヤング係数、ポアソン比により応力を算出すればよい。同様に溝を切る深さは、コアカッター径 $\phi 60\text{mm}$ ならば19.8mm、 $\phi 100\text{mm}$ ならば33.0mmとなる。しかし、これはひずみゲージ長さ20mmに限ったことであり、後述するように、ひずみゲージ長さを変化させると(図-14)、その値は若干違ってくる。この手法は構造物の大きさには影響されないため、適用範囲は非常に広がるものと思われる。

6. 実験結果と解析結果の比較

図-10、11、12に解析結果と実験結果を比較したものを示した。実験供試体数は5体である。解析結果は供試体と同条件であるモデル①のものを示している。前述のように、供試体に導入した初期軸力は12tf(30kgf/cm^2 の圧縮等分布荷重に相当)であったが、溝切り終了時の軸力は11.6tf程度であり、大きな軸力の低下はみられなかった。

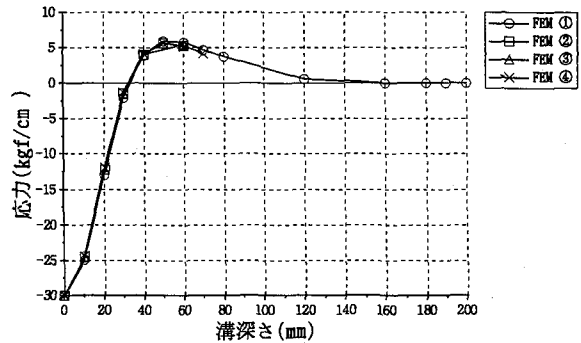


図-7 モデル形状による比較

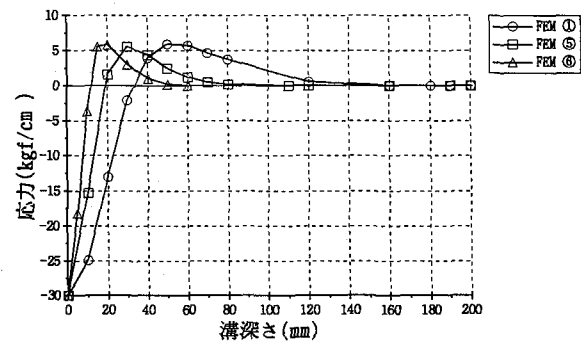


図-8 コアカッター径による比較

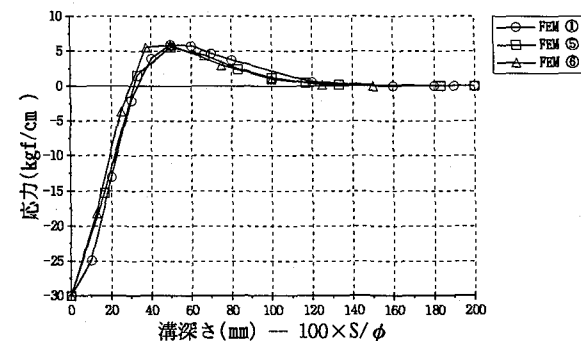


図-9 換算カッター径($100 \times S/\phi$)による比較

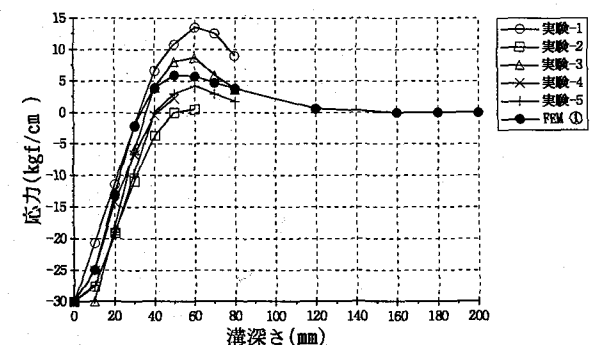


図-10 実験値と解析値の比較

図-10は、実験により得られたひずみをヤング係数およびポアソン比により応力に変換することにより得られたデータをプロットしたものである。この際、ヤング係数はそれぞれの供試体毎に軸力導入時のひずみが -30kgf/cm^2 になるように決定した。また、ポアソン比は $1/6$ とした。計算式は次のようになる。

$$\sigma_x = E/(1-\nu^2) \cdot \varepsilon_x + \nu E/(1-\nu^2) \cdot \varepsilon_y$$

実験供試体のかぶりコンクリート部には乾燥収縮ひび割れ等の微細ひび割れが発生していることも予想されるため、断面全体での応力状態が一樣ではないものと思われるが、ここでは、応力状態が一樣であるという仮定のもとで考察を加えた。実験結果にばらつきはみられるものの、両者は同じ傾向を示している。このばらつきの原因はひずみゲージ長が 20mm と短かったこと、また今回測定した応力レベルはひずみに換算すると $-100 \sim +50 \mu$ であるが、計測器動作誤差が最大 10μ 程度であること、また前述のかぶりコンクリート部の乾燥収縮等の影響によるものであると思われる。解析値と実験値が同じ傾向を示していることが確かめられたが、ばらつきの程度を考慮すると、信頼性について検討の余地があるものと思われる。測定精度の問題が大きいと思われるため、今後ひずみゲージ長等の影響を考慮した実験を行うことにより、このばらつきの原因を調査する予定である。

図-11に初期圧縮応力に対する応力解放率を縦軸にとったものを示した。縦軸横軸共に無次元化したものである。これも同じ傾向を示しており、応力が完全に解放される溝深さは $32 \sim 50\text{mm}$ であった。

図-12は、応力変化の最大値を1とした時のそれぞれの S/ϕ における応力の割合、すなわち応力変化の最大値に対する応力解放率を示したものである。これも、同じ傾向を示している。

以上より、前述の解析結果とよい相関性を示しており現場への適用は可能であると思われる。

7. ひずみゲージ長さの影響

三次元有限要素法線形解析により、ひずみゲージ長さの影響について考察を加えた。

図-13は、溝切り深さを変えてそれぞれについて溝切り部内部の表面応力(σ_x)分布状況を示したものである。①のモデルで解析を行った。①のモデルは $\phi 100\text{mm}$ のコアカッターを使用しており、図-13の両側、すなわち -50mm と $+50\text{mm}$ の箇所は溝切り部である。0の箇所はひずみゲージ貼り付け中心部である。

溝切り中心箇所(0mm)から離れるほど応力解放の程度が大きくなり、特に溝切り箇所すなわち中心から -50mm 、 $+50\text{mm}$ の箇所は、中心部(0mm)よりも応力解放の程度が初期において非常に大きいことがわかる。当供試体は軸力一定のまま溝を切っていくのだが、溝を切っていくにつれ、まず溝切り内部の溝近傍へ応力が伝達されなくなり 20mm の溝深さの時応力伝達は0になる。この時、溝切り中

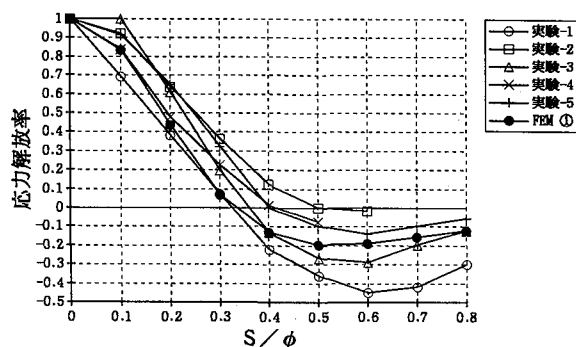


図-11 応力解放率- S/ϕ 関係(その1)

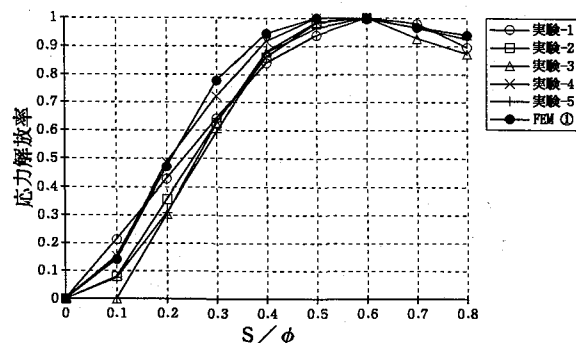


図-12 応力解放率- S/ϕ 関係(その2)

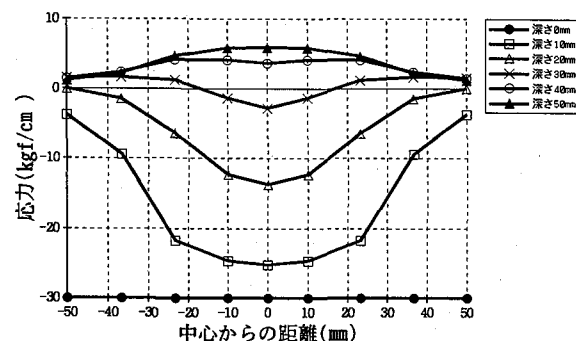


図-13 応力分布(モデル①) $\phi 100$

心部にはまだ半分程度の応力が伝達されている。しかしこの箇所も溝切り深さが $30\text{mm} \sim 40\text{mm}$ の間で応力伝達率が0になっている。軸力は一定であるので、溝内部が応力を負担しない分だけ溝切りの外側の応力は増えることになる。すなわち、この溝切り作業は全体構造系から溝切り内部をできるだけ独立させる行為であり、溝切り内部中心の表面はある溝切り深さで全体系から完全に独立するものと思われる。前述(図-9)したように応力解放の程度は S/ϕ により決定されるというのは、すなわち応力伝達の程度が S/ϕ により決定されるということであり、全体系には影響されない。

図-13の中央部 20mm ($-10 \sim +10\text{mm}$)の範囲の値を加重平均したものが、図-7のFEM-①である。

加重平均の範囲(測定長-ゲージ長)を変えて比較したものを表-2、図14に示した。 $\phi 100\text{mm}$ のコアカッターによ

表-2 測定長さ(ゲージ長)毎の応力解放の程度(単位 kgf/cm²) -コアカッター径φ100

溝切り深さ(mm)	0	10	20	30	40	50
範囲 20.0mm	-30	-24.96	-13.04	-2.08	3.90	5.89
範囲 46.6mm	-30	-23.96	-10.93	-0.93	4.02	5.50
範囲 73.4mm	-30	-20.90	- 8.36	-0.06	3.74	4.74
範囲 100.0mm	-30	-17.09	- 6.31	0.38	3.25	3.93

り溝切りを行った場合、範囲が20mmのものは33mm、範囲46.6mmのものは32mm、範囲73.4mmのものは30mm、範囲100mmのものは29mmで応力が完全に解放することがわかる。ひずみ測定範囲が長いもの(ここでは100mm)は境界(溝切り部)と測定位置が近いため、応力集中等の影響が出ることが予想されたが、その影響はなく、また範囲20mmと範囲100mmの応力解放溝深さの差は最大4mmであり大きな差はなかった。

溝切り径を大きくするとそれに連れて溝切り深さを深くしなければならない。実際は貫通コアを抜くこともよく行われているが、構造物にできるだけ傷を付けない方が望ましいという立場に立つと、溝切り深さはかぶりコンクリート内にとどめる方がよいと思われる。以上よりコアカッターはφ100mmのものが、また最大骨材の2~3倍以上の測定長さという点より60mmのひずみゲージの使用が妥当であると思われる。

8. 現場への適用方法

今回提案した応力解放法を現場に適用するに当たり、問題となる点を次に示した。

- 1) 構造物に貼り付けたひずみゲージのコアカッター使用中の処理方法.
- 2) ヤング係数、およびポアソン比の決定方法.
- 3) ばらつき程度の確認.
- 4) 測定時の温度変化.
- 5) 防水作業の改善.
- 6) 測定時間.

1)の問題は、コアカッターという回転を伴う密閉された機械の中から如何にしてひずみゲージのリード線を引き出すか、ということである。

この解決策として次の2つの方法が考えられる。①コアカッターを改造し、スリップリングまたは電波によりひずみの値を取り出す方法。②着脱可能なコネクタを

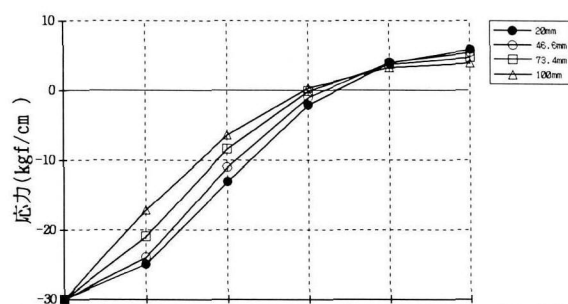


図-14 測定長さ(ゲージ長)による比較(モデル①)
- φ100

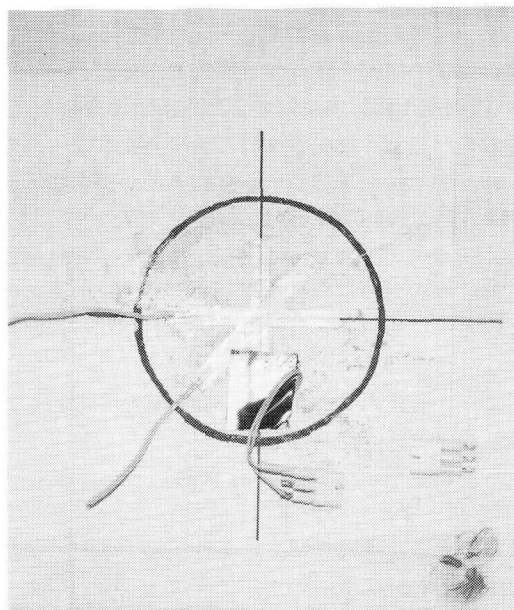


写真-3 ひずみゲージ、コネクタ設置状況

表-15 コネクタ着脱繰り返し時のひずみ出力値 (単位 μ)

ゲージ No.	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	差
1	0	+5	+6	+2	-3	+4	+3	+1	-2	+1	9
2	0	+1	-2	-1	0	-3	-4	-4	-5	-5	6
3	0	-1	+1	+2	-1	-1	-2	-2	-1	-3	5
4	0	+1	-2	-5	-4	-3	-4	-5	-5	-4	6

使用する方法。すなわち、コアカッター使用中はひずみゲージとリード線を切り放し、ひずみを測定する時にひずみゲージとリード線を接続する方法。両者の内、前者は測定誤差が大きいため、後者を採用した。

後者はひずみゲージとリード線の着脱を繰り返すことになるが、最も問題となるのはコネクタ部の接触抵抗の変化であり、この問題を解決するため計測器メーカーに開発を依頼した。今回採用したコネクタについて、着脱繰り返しを行った時の出力値の変化を表-15に示した。この値は1回目測定ひずみに対する各回のひずみ値の差であり、最大のばらつきはNo.1の9 μ であった。しかし、全体的にばらつきは少なく、計測器動作誤差の最大が10 μ 程度であることを考慮すると、十分使用可能であると思われる。

なお、ひずみゲージは貼り付けを行わず搬入された形のまま測定を行っている。ひずみゲージを供試体に貼り付けた場合は空気の流れ等の影響を受けにくくなるため、このばらつき値はさらに小さくなるものと思われる。

ひずみゲージ、コネクタ設置状況写真を写真-3に示した。写真中の円の直径は100mmであり、ひずみゲージ長さは60mmである。

当手法は現地で測定したひずみをヤング係数およびポアソン比により応力に換算するものであるため、この両者の値を決定しなければならない。(問題点2))

この際、最低1箇所については現場採取による円柱供試体の材料試験が必要になるものと思われる。材料試験では、現地測定ひずみ状況でのヤング係数およびポアソン比を測定する。測定領域の応力度レベルが30kgf/cm²程度と考えられるため、載荷スピードの管理等検討項目はあるが、除荷時弾性係数を使用することによりこれらの材料特性値測定手法を探る可能性があると思われる。また、ここで使われるヤング係数は初期接線弾性係数に近いものであると思われるため動弾性係数を使用することも考えられる。今後、検討していきたい。

3)のばらつき程度の確認は試験数を増やすしかなく、今後もデータ採取に努めたいと考えている。この際使用するひずみゲージ長は60mmのものを考えている。

4)の測定時温度変化は2~3℃であった。自己温度補償ゲージを使用すればひずみ測定には大きな影響を及さないものと思われる。

当手法はコアカッターを使用する時大量の水を供給するためひずみゲージおよびコネクタ部の防水処理を念に行わなければ測定精度にも影響することになる。写真-4に防水状況を示した。そこで5)の防水処理の改善が重要になってくるが、今ひずみゲージ長60mmの防水ロゼットゲージとねじ込み式接続装置を組み合わせたものを考案中であり、当ゲージの使用性を確認する予定である。

測定時間(6))が長くなると、ひずみゲージのドリフトやコンクリートのクリープの影響等により値が変化することが考えられる。測定時間はコアカッター工と防水

処理を伴うひずみゲージの結線作業の時間に影響されるためこれらの省力化についても、前述の防水作業の改善と合わせて検討を行いたい。

以下、現場への適用手順について示した。

- ① まず、構造物の測定部位にひずみゲージを貼り付け、ひずみゲージと計測機器をコネクタを用いて接続する。
- ② ひずみゲージの防水を行う。
- ③ 構造物に作用している応力の初期値を測定し、この測定値を零とする。
- ④ 初期値を測定後、ひずみゲージと計測機器との接続を解除し、 $\phi 100$ のコアカッターを用いて、円状にひずみゲージの周りの溝切りを行う。
- ⑤ 溝深さが33mmに達したら(ひずみゲージ長20mm)溝切りを中止し、再びひずみゲージと計測機器を接続して、最終値を測定する。この溝深さは、ひずみゲージ長60mmの場合は31mmでよい。
- ⑥ 現存応力は、最終値から初期値を減じたひずみ値からヤング係数とポアソン比を使用し、次式により算出する。
$$\sigma_x = E/(1-\nu^2) \cdot \epsilon_x + \nu E/(1-\nu^2) \cdot \epsilon_y$$
$$\sigma_y = E/(1-\nu^2) \cdot \epsilon_y + \nu E/(1-\nu^2) \cdot \epsilon_x$$
- ⑦ 初期値から最終値までの間に複数回測定することにより、誤差を少なくし、精度を増すことができる。この場合、あらかじめ解析により、使用するひずみゲージ長毎にひずみ-溝深さ曲線を作成しておく必要がある。
- ⑧ コアカッター使用時間は数分程度以内にする。これは、ひずみゲージのドリフトやコンクリートのクリープの影響をできるだけ少なくするためである。

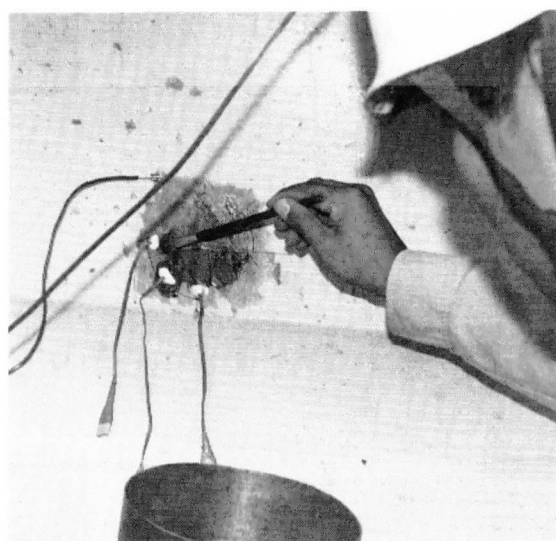


写真-4 防水状況

9. まとめ

今回の実験および解析により得られた結果を以下にまとめた。

- ① コンクリート構造物の現存応力を推定する手法として応力解放法を提案し、当手法が非常に有効であることが確認できた。
- ② 当手法は簡便な方法であり、コンクリート構造物への適用は容易である。また、大型構造物へも適用可能である。
- ③ 当手法は、構造物に傷をつけることが少なく、かぶりコンクリート内で対応可能である。
- ④ 当手法は、現場においてコアカッターとひずみゲージを使用する。かぶりコンクリート深さおよび最大骨材寸法より判断すると、コアカッター径は $\phi 100$ mm、ひずみゲージ長さは60mmが適当であると思われる。なお、この際の応力解放のための溝切り深さは31mmである。
- ⑤ コンクリート構造物に当初導入されていた圧縮応力は、円形状の溝を切ることにより徐々に解放され、完全に解放された後も更にその傾向は続き引張応力が発生する。この引張応力は最大値を迎えた後徐々に減少し、最終的には再び無応力状態になる。
- ⑥ 応力解放の程度は構造物の大きさに関係することな

く、 S (溝切り深さ)/ ϕ (コアカッター径)とひずみゲージ長により決定される。

- ⑦ ひずみゲージ長20mmの場合の応力完全解放溝切り深さは、 $S/\phi=0.33$ により決定される。
- ⑧ $\phi=100$ mmの時の応力完全解放溝切り深さは、ひずみゲージ長20mmの場合33mm、ひずみゲージ長46.6mmの場合32mm、ひずみゲージ長73.4mmの場合30mm、ひずみゲージ長100mmの場合29mmである。
- ⑨ 当手法の信頼性を増すためには、ヤング係数およびポアソン比の測定方法の確立、測定値のばらつきの程度の確認を行う必要がある。

当手法を確立することによりコンクリート構造物の応力状態を簡便に把握することが可能になり、コンクリート構造物の信頼性の確認、また補修・補強設計が容易に行えるものと思われる。

参考文献

- 1) 須藤一:残留応力とゆがみ、内田老鶴圃, 1988年
- 2) トンネルの地質調査と岩盤計測、土木学会, 平成3年
- 3) 初期地圧測定法の現状と課題、土木学会, 平成4年

(1995年9月18日受付)