

13-1

論文題目：“非線形有限要素解析による曲げ破壊するRC部材の損傷指標の検討”

著者：上田尚史・権庸吉・中村光・高木康宏・国枝稔

掲載：Vol.52A, pp.925-934, 2006年3月

◆ 討議 [秋山 充良（東北大学）]

平均ひずみを損傷指標として用いる際、設計時の損傷指標の限界値(許容値)の設定方法について、その考え方をお教え下さい。単柱やラーメン橋脚など、構造形式に関わらず、損傷指標の限界値は決定されるのか、それとも、構造形式ごとに、限界値を変える必要があるのか、についてコメントを頂けますか。

◆ 回答：

本研究の最終的な目的は、構造形式によらない損傷指標を提案することにあります。そこで本研究では、構造物の損傷度を評価する際には、材料レベルでの損傷の情報を用いることが妥当であると考え、また、有限要素解析の特徴を考慮した上で、損傷指標としてコンクリートの平均化ひずみを提案し、その適用性について検討を行いました。その結果、平均化長さを適切に評価することで、曲げ破壊するRC柱やRCボックス構造等、異なる構造形式に対しても平均化ひずみを損傷指標として適用することが可能であることを示しました。

しかしながら、コンファインドコンクリートや複合応力下のコンクリート、あるいは、大型構造物に対する損傷指標の適用については、現段階ではその検討が不十分であるため、今後実験結果との比較を行い、さらに検討していく必要があると考えております。

また、設計時の損傷指標の限界値の設定方法については、対象とする構造物にどの程度まで損傷を許容するのかといった問題と関連してくるかと考えています。しかしながら、平均化ひずみを損傷指標として複数の限界値を設定することで、対象とする損傷度に構成部材の損傷を考慮しながら、構造物全体を対象として設計することがある程度可能になると考えております。

◆ 討議 [松田 浩（長崎大学）]

表面ひずみは、形状関数から部材表面の要素辺中点のひずみを直接算出されて実験値と比較されていますが、実験で用いられたひずみゲージ長と同じ長さの平均化ひずみ値として解析結果から算定するとどうなるのでしょうか。

◆ 回答：

コンクリートの圧縮破壊の局所化については、Nakamura and Higaiのコンクリートの一軸圧縮破壊実験¹⁾より、図-1に示すような局所化現象が得られています。この結果は、圧縮供試体内部に埋め込まれたアクリルバーにひずみゲージを添付して得られた結果であり、局所化領域はおよそ250~300mmであることが分かります。また、一つのひずみゲージからは破壊領域における局所的な情報は得られますが、破壊領域全体の情報を得ることは出来ません。

一方、数値解析における局所化は要素寸法に依存して生じます。本研究では、この問題を解決するために、要素寸法とは無関係な平均化長さを用いて局所化領域を分布させる手法を提案しました。ここで平均化ひずみは、図-2に示すように、平均化長さに依存して平均化領域内で分布します。

以上のことから、ひずみゲージ長は一般には破壊領域よりも短いため、平均化して得られた平均化ひずみは実験結果を妥当に評価できず、平均化長さとしては破壊領域と同程度でなければならないと考えております。

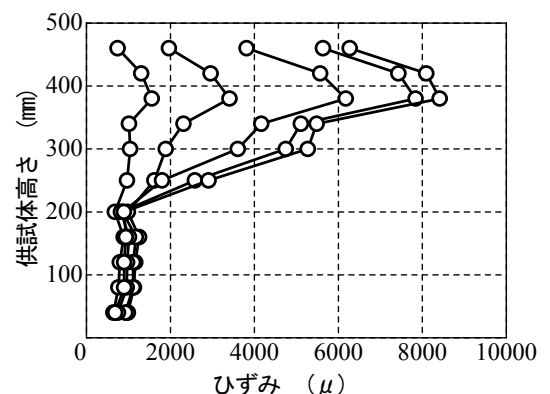


図-1 破壊に伴うひずみ分布の進展挙動

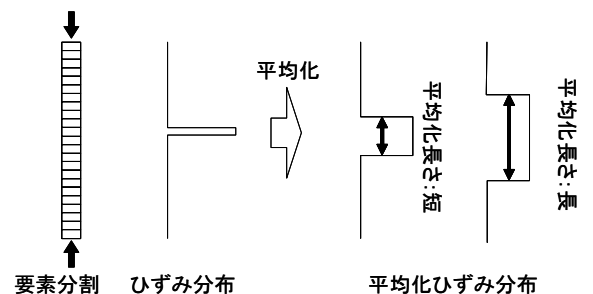


図-2 ひずみの局所化と平均化ひずみの概念図

参考文献

1) Nakamura, H. and Higai, T : Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Modeling of Inelastic Behavior of RC Structure under Seismic Loads, ASCE, 2001

13-2

論文題目：“場所打ちPC床版における材齢初期の温度応力と膨張材の応力的評価”

著者：高瀬和男・倉田幸宏・塩永亮介・下村 匠・丸山久一

掲載：Vol.52A, pp.935-942, 2006年3月

◆ 討議 [齊藤 成彦 (山梨大学)]

膨張ひずみの最大値や発現のタイミングなどの膨張材の特性のモデル化は、温度応力解析結果にどのように影響を与えるのでしょうか。

◆ 回答：

コンクリートは環境温度が高い場合、セメントの水和が早くなり、コンクリート温度が早期に上昇し、かつ固まります。その結果、温度応力の発現状況も早くなります。また、実現象における膨張材による膨張ひずみの発現もセメントの水和と同様に早期に膨張ひずみが発現します。

膨張材の膨張ひずみの発現はコンクリート内部に圧縮応力を発生させ、温度応力による引張応力を軽減させる働きがあります。しかし、膨張ひずみは、材齢初期のコンクリート強度がまだ発現していないときは膨らし粉が膨らんでみただけの現象となり、コンクリート内部には圧縮応力が蓄積されません。また、コンクリートが硬化してしまっただけでは、膨張ひずみの発現力がコンクリートの強度に負けてしまっただけでコンクリート内部には圧縮応力が入りません。よって、実際の膨張材の働きを適切に評価することは非常に難しいと考えています。

温度応力解析は、環境温度の変化による発生応力度の現象を捉えて解析を行います。その要素としては、セメントの断熱温度上昇特性や熱伝達率があり、環境温度により設定値を変化させています。しかし、今までは膨張材の膨張ひずみに対しては、その考慮がなくほぼ一定の評価しかされていませんでした。よって、ここでは膨張ひずみの発現のタイミングを環境温度に対して区分して示しました。それにより今まではあいまいにしか評価されなかった材齢初期の膨張材の評価が、解析により適切に行われると考えています。

13-3

論文題目：“RC巻き立て補強工法における膨張材のひび割れ抑制効果”

著者：平川信之・高瀬和男・栖原健太郎・丸山久一

掲載：Vol. 52A, pp. 943-950, 2006年3月

◆ 討議 [齊藤 成彦 (山梨大学)]

① タイトルに「RC巻き立て」とあるが鉄筋は考慮されて

いるのでしょうか。

② 鋼管とコンクリートとの境界はどのようにモデル化されているのでしょうか。

◆ 回答：

① 解析において、鉄筋は考慮しておりません。実験においては、本論文では言及しておりませんが、軸方向鉄筋と帯鉄筋を配置し実施しました。結果としては、膨張材の有無によるひび割れ発生の差異は見られませんでした。

② 解析モデルにおいて、鋼管とコンクリートの境界は節点共有で剛結合の設定をしております。

◆ 討議 [松田 浩 (長崎大学)]

実験で鋼管まわりに円周状にひび割れが発生していますが、その発生メカニズムをご説明願います。

◆ 回答：

コンクリートの温度降下時の収縮段階において、コンクリートを鋼管が拘束することにより、鋼管周りのコンクリート表面にひび割れが発生したものと考えられます。ひび割れは、長手方向の引張応力が卓越して、円周状に発生したものと考えられます。

13-4

論文題目：“アルカリ骨材反応による鉄筋破断メカニズム推定のための材料試験”

著者：幸左賢二・川島恭志・眞野裕子・佐々木一則

掲載：Vol.52A, pp.951-958, 2006年3月

◆ 討議 [小林 薫 (JR東日本)]

鉄筋破断には鉄筋の初期欠陥が大きく影響すると思います。鉄筋の初期欠陥は曲げ半径に影響し、さらに曲げ半径とひずみ時効の関係が大きく影響すると思えます。ひずみ時効の影響についてご教示下さい。

◆ 回答：

一般的にひずみ時効により、鉄筋は時効硬化を起こし、硬くなります。しかしながら、ひずみ時効のみでは亀裂が進展するとは、考えられませんので、ASRによる内部膨張を受けた際に、鉄筋の伸びや絞りといった、延性的な性質の低下に影響を与え、亀裂進展を助長していると考えられます。

◆ 討議 [高瀬 和男 (駒井鉄工(株))]

① 鉄筋の曲げ加工において、曲げ内側にひび割れが生じるメカニズムについて説明してください。

- ② 鉄筋のひび割れ要因として、曲げ半径が小さかったからと示されていますが、材質的な問題はなかったのでしょうか。その点に関連して他に検討結果はありませんか。

◆ 回答：

- ① 鉄筋曲げ加工部内側に亀裂が発生するメカニズムとしては、曲げ加工を行うことにより、鉄筋の節が鉄筋内部に入り込むような変形を起こしていると考えられます。その際に、入り込む節と鉄筋内部との間でズレ破壊が生じ、初期亀裂が発生すると考えております。
- ② 本実験で用いた鉄筋に関しては、全て JIS 規格を満足しており、材質的な問題はなかったと考えております。また、JIS の規格値が設定されておらず、ひずみ時効に影響を与える N、Al の値についても、現行の鉄筋と旧節形状の鉄筋とで同等の値となっていましたので、材質が鉄筋のひび割れ要因に大きな影響を与えることはないと考えております。

13-5

論文題目：“X線造影法による鉄筋コンクリートのせん断伝達面における変形状に関する検討”

著者：子田康弘・渡辺亮史・岩城一郎・大塚浩司

掲載：Vol.52A, pp.959-967, 2006年3月

◆ 討議 [幸左 賢二 (九州工業大学)]

- ① 深さ方向はどの程度測定することが可能でしょうか。
② 測定のための制約条件はどのようなものがありますか。

◆ 回答：

- ① 高感度の X 線フィルムを使用すれば本実験の X 線の出力 (管電圧 100kV) で 150mm までは測定可能と思います。なお、測定可能な深さは、管電圧、管電流、放射時間、X 線フィルムの感度との関係で変わりますが、供試体が厚くなれば、その分ひび割れの検出精度は落ちます。
- ② X 線が外部に漏れないように遮蔽壁が必要になります。また、X 線の操作に当たり「X 線作業主任者」という国家資格が必要です。

◆ 討議 [松田 浩 (長崎大学)]

ひび割れ幅をパラメータとしてまとめられていますが、内部ひび割れと表面ひび割れの差は大きいものなのでしょうか。表面ひび割れだけの表面計測ではこの種の問題は解決することはできないもののでしょうか。

◆ 回答：

本実験による内部ひび割れの可視化から、主たるひび割れの周辺には、微細なひび割れ領域を形成する様相が認められ

ました。この種の微細ひび割れは、表面計測からその領域を特定することが難しいと考えています。なお、本実験の表面観察によるひび割れは、概略単一的なひび割れでありました。

13-6

論文題目：“コンクリート自碇式吊床版橋の架設時における構造特性と試設計”

著者：中村一史・近藤真一・羽根 航・前田研一

掲載：Vol.52A, pp.969-977, 2006年3月

◆ 討議 [安同祥 (早稲田大学)]

解析時コンクリートの乾燥収縮・クリープによる影響はどのように考慮されているのでしょうか。

◆ 回答：

想定される上部構造の工期は 2～3 ヶ月であることから、解析時にはコンクリートの乾燥収縮・クリープによる影響は考えておりません。ただし、それらの傾向を把握するため、別途、検討を行っており、それらの結果からは影響が小さいことを確認しております。

◆ 討議 [上田尚史 (名古屋大学)]

有限変位理論に基づく解析結果において断面力が小さくなった理由を教えてください。

◆ 回答：

吊床版の断面力のうち、曲げモーメントについては、微小変位理論に基づく解析結果よりも有限変位理論に基づくものの方が小さくなっています。これは、有限変位解析では、変形後の座標系で釣り合いをとっており、幾何学的な非線形性が考慮されるためであると考えています。

◆ 討議 [松田 浩 (長崎大学)]

補修・補強を考慮すると他定式を自定式に変換しないような形式がよさそうに思いますが、その点についてのお考えを教えてください。

◆ 回答：

他碇式から自碇式に構造変換を行った後は、通常の PC 桁橋と同じ構造系となることから、補修・補強も桁橋と同じ取り扱いで対処可能であると考えています。なお、他碇構造とした後も 1 次ケーブルの地中アンカー部を残置することは可能であるため、床版打ち換えなどを想定した場合に上部構造の一部の荷重を受け持たせることも検討に値すると考えています。

論文題目：“断層変位方向によるRCアーチ橋の耐震性能に関する解析的研究”

著者：中野友裕・河野直也・田辺忠顕

掲載：Vol. 52A, pp. 979-986, 2006年3月

◆ 討議 [幸左 賢二 (九州工業大学)]

断層変位を考慮した場合、望ましいRC形状や支持条件といたったものはあるのでしょうか。

◆ 回答

支持条件をヒンジにして解析を行うなど、今後検討していきたいと考えております。

◆ 討議 [清宮 理 (早稲田大学)]

今回の解析方法は強制変位を順次与えているが、部材が1～2箇所破壊する状況までであるように見える。全体崩壊までの過程を追跡することは考えておられないのでしょうか。

◆ 回答

構造不安定性を議論するために、今後固有値解析を実施し、全体崩壊の過程までを追跡していく必要があると考えています。

◆ 討議 [松田 浩 (長崎大学)]

アーチの場合、構造不安定特性が重要だと思いますが、座屈現象は現段階では考慮されていないという理解でよろしいでしょうか。

◆ 回答

現段階では座屈現象は考慮していません。

論文題目：“RC梁の耐荷性状に及ぼす曲げ補強FRPシート引張剛性の影響に関する数値解析的検討”

著者：張 広鋒・岸 徳光・三上 浩

掲載：Vol. 52A, pp. 987-998, 2006年3月

◆ 討議 [清宮 理 (早稲田大学)]

曲げ補強をする場合にFRPシートの定着長の長さはどのように設定するのでしょうか。図-1の破壊モードの3を防ぐには定着長さをさらにとらなければならないのでしょうか。

◆ 回答：

ご指摘のように、FRPシートの定着長が十分でないことは図-1の破壊モード3が発生する原因の一つとして挙げられます。破壊モード3は、RC梁の曲げ剛性やFRPシートの引張剛性等に則して十分な定着長を取ることにより防ぐことが可能であると判断されます。しかしながら、実梁部材の場合は、スパン長が一定であるため、破壊モード3を防ぐための十分なシート定着長が満足されない場合もあります。

一方、本論文では、有効定着長ではなく、FRPシートの引張剛性やせん断スパン比のRC梁の耐荷性状への影響に着目して検討することとしておりますので、FRPシートの補強範囲は、いずれの試験体においても純スパン長に対して全面接着することを基本に、支点の100mm手前までとしております。

◆ 討議 [斉藤 成彦 (山梨大学)]

シートの破断をモデル化しないのはなぜでしょうか。また、モデル化すると条件により破壊モードが様々に変化すると思いますが、それらをどのように整理することができそうかを教えていただきたい。

◆ 回答：

FRPシート曲げ補強RC梁は、シートのピーリング破壊やシート端部からのかぶりコンクリートの引き剥がれ破壊等が発生する前に、シートの破断によって終局に至るケースもあります。著者らは、これまで特定のアラミド繊維シートや炭素繊維シート曲げ補強RC梁に関する数値解析的研究において、公称破断ひずみを設定して解析を行い、いずれの破壊モードも再現可能になるように処理しております。しかしながら、本研究の場合には、シート材料を特定せずに単にシートの引張剛性を変化させた場合におけるピーリング破壊やシート端部からのかぶりコンクリートの引き剥がれ破壊のみに着目して検討を行うこととしていることより、シートは破断しないものと仮定して数値解析を実施しております。

また、破壊モードが様々に変化し、それをどのように整理するかについてのご質問にお答えします。本解析手法を用いることにより、解析対象のRC梁と補強用FRPシートを実状に即して入力することによって、特別な操作をせずとも条件に対応した破壊現象が数値解析的に再現されることを確認しておりますので、特別な整理を行うことの必要性はないものと判断されます。

◆ 討議 [幸左 賢二 (九州工業大学)]

荷重-変位関係の低下傾向はどのような現象に対応しているのでしょうか。

◆ 回答：

ご指摘のように、終局に至る前の荷重-変位関係には荷重の一時的な低下現象が見られます。これは、シートが全面剥離に至る前に部分的にシート剥離が進展したことによるものと推察されます。

論文題目：“RC中空床版橋の炭素繊維シート緊張接着補強に関する実験的研究”

著者：栗根 聡・幸左賢二・丸野泰史郎・宇野裕教

掲載：Vol.52A, pp.999-1008, 2006年3月

◆ 討議 [清宮 理 (早稲田大学)]

- ① プレストレス量はどのように、どれくらい導入されているのでしょうか？ また、導入緊張力は試験中に確認されているのでしょうか？
- ② 炭素繊維シートを貼るにより初期剛性（ひび割れ発生前）まで戻ったのでしょうか。また、剛性が復活する原因として接着剤のひび割れ内の浸透と炭素繊維シートの剛性とが考えられますが、どちらの影響が大きいのでしょうか。

◆ 回答：

- ① 本研究では、炭素繊維シートにシートの引張強度（3400N/mm²）の0.3倍（1020N/mm²）の緊張力を導入している。PC鋼棒を用い緊張力を導入しているが、その際、ロードセルにより導入した緊張力を確認している。その結果、本工法により所定の緊張力を導入したことを確認した。
- ② L-2 供試体の荷重-変位関係を見てわかるように、炭素繊維シートを補強することで、荷重-変位曲線の勾配は向上することが見て取れる。ひび割れ発生前（P≧270kN）で荷重-変位勾配を比較した場合、補強前補強後共に62kN/mm程度となりほぼ同値となることより、剛性は炭素繊維シートの補強効果および樹脂の含浸効果の影響により初期剛性まで戻ったといえる。

また、炭素繊維シート補強による剛性向上は鉄筋換算で5.5%程度であるが、炭素繊維シート補強前後の剛性は、荷重 270≦P≦680kN 時の荷重-変位曲線の勾配を比較した場合、21.8%向上している。よって、炭素繊維シート補強による剛性の向上も考えられるが、樹脂の含浸による補強効果も期待できるという結果となった。

論文題目：“軸力と交番ねじりを同時に受けるPC部材の力学性状に関する研究”

著者：何 海明・清宮 理

掲載：Vol.52A, pp.1009-1016, 2006年3月

◆ 討議 [小林 薫 (JR東日本)]

- ① 軸力を考慮していない解析の初期時の荷重が実験値と相違する理由をお教え下さい。
- ② ねじり計測方法の限界が存在する理由をお教え下さい。

◆ 回答：

- ① 本解析に用いたコンクリートの材料モデルは、三軸拘束下におけるコンクリートの弾塑性破壊モデルであります。軸力を受ける試験体の解析に適用する場合は、解析の初期時の荷重が実験値とよく一致しました。逆に、軸力を受けない試験体の解析に適用する場合、その拘束効果が過大評価されているのではないかと思います。解析の初期時の荷重が実験値より高くなってしまいました。
- ② 本実験で使われたねじり率の計測装置（図1に示す）は、大きなねじり率の計測にも対応していますが、本実験で用いたねじり率の計算式は $\theta \approx \tan(\theta)$ として計算しました、 $\theta \approx \tan(\theta)$ を満たすために、 θ を5度以下に制限する必要があります。それは本実験でねじり率の計測方法の限界が存在する理由です。ただし、本実験では、試験体を破壊まで載荷しても、 θ が5度を越えることはありませんので、ねじり率の計測には問題ありません。

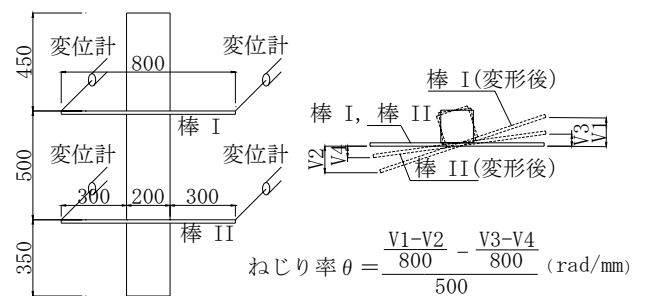


図1 ねじり率の計測方法と計算式