

鉄筋コンクリート造建物の構造部材から採取した コンクリートコアの多点体積ひずみ測定による 火害コンクリートの損傷深さ推定方法と その適用事例

Deterioration Depth Estimation Method for Fire-Damaged Concrete by Measuring Multi-Point Volumetric Strain of Concrete Core Drilled from Structural Members of Reinforced Concrete Building and Application Case Study

春畑 仁一*1、新井 真*2、池田 憲一*3

1. はじめに

鉄筋コンクリート造（以下、RC造と記す）建物が火災を受けると構造部材の構成材料であるコンクリートが損傷を受ける場合がある。被災した建物を再利用するためには、コンクリートの損傷状況を把握し、被災前の部材に要求される性能まで回復させるための補修または補強を行う必要がある。また、被災後の建物が的確に補修されていることは、火災後の建物の資産価値を決定する上においても重要である。これらのことから、コンクリートの損傷部に適切な補修を実施する場合には、その損傷深さを推定することが必要となる。

国内で行われている建物の火災診断、補修等は、日本建築学会「建物の火災診断および補修・補強方法 指針・同解説」¹⁾に基づいて行われることが多い。本指針によれば、RC造の構造部材が火災を受けた場合、火災により損傷を受けた箇所（以下、火害部と記す）および損傷を受けていない箇所（以下、非損傷部と記す）からそれぞれ採取したコンクリートコア（以下、コアと記す）を用いて圧縮強度試験を実施し、その両者の圧縮強度を比較することによって、構造部材の火害の程度を示す火害等級を決定している。しかしながら、圧縮強度のみでは、火害等級を決定するための判断基準の一つである「被害が表層に限定される」または「被害が主筋との付着に支

障があるほど大きい」などを判定することが困難で、火害等級を推定することが難しい場合がある。

火災を受けたコンクリートは、加熱面が高温に曝されることでひび割れが発生する。そのひび割れは、セメントペーストの収縮と骨材の膨張挙動から高温になるほど成長し、コンクリート内部に進展する。本研究では、この現象により生じた大小様々なひび割れを火害損傷と称し、コンクリート内部に進展した深さを火害損傷深さと定義する。写真-1に、後述する本実験において使用した加熱冷却後のコンクリート内の損傷状態を深さ別に顕微鏡観察した結果を示す。加熱冷却後にみられるコンクリートのひび割れは、加熱面が最も甚大で、加熱面から内部に深いほど軽微となる。そのひび割れが発生する深さは、火災時のコンクリート表面が受ける温度や火災継続時間に依存する。加熱冷却後のコンクリート加熱面か

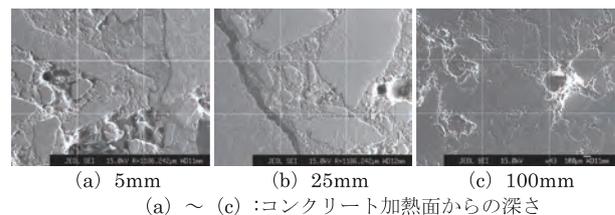


写真-1 加熱後のコンクリート

*1 HARUHATA Masakazu : (一財)日本建築総合試験所 試験研究センター 構造部 耐震耐久性調査室 室長代理 博士(工学)
 *2 ARAI Makoto : (一財)日本建築総合試験所 試験研究センター 構造部 耐震耐久性調査室
 *3 IKEDA Kenichi : 東京理科大学 教授 博士(工学)

ら採取したコアを圧縮強度試験に供した場合、高温に曝された加熱面から破壊が生じる。しかしながら、通常行われる圧縮強度試験では、加圧板の端面摩擦によりコア両端が拘束され火害部で壊れるのではなく、火害部を含んだコア全域にわたる一様な破壊を示す。この現象を換言すれば、加圧板の端面摩擦を低減した状態で圧縮強度試験を行うことにより、コアの破壊パターンは、多くのひび割れがコアの軸方向に生じる圧壊割裂型となり、コアの火害部に内在するひび割れが先行して破壊すると推測される。

本研究では、火害診断において採取されるコアの圧縮強度試験に着目し、加圧板とコア両端部の端面摩擦を低減した状態で圧縮強度試験を実施し、試験時に生じるコア軸方向および直交方向の膨張収縮挙動をひずみゲージを用いて任意の深さ毎に同時に測定して、そのひずみ挙動から火害損傷深さを推定する方法について検討した。なお、本稿は文献2)における既発表の内容に、本測定方法による火害部の推定の考え方および火害調査事例を追記したものである。

2. コンクリートの圧縮強度・変形特性

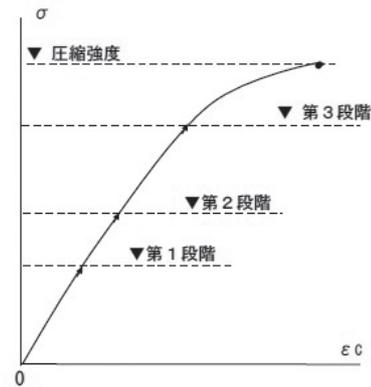
2.1 コンクリートの圧縮破壊過程

図-1にコンクリートの圧縮破壊過程を示す³⁾。一般に、圧縮強度試験時における載荷荷重の増大に伴うコンクリートの破壊過程は次のようになる。最大応力の1/3程度の応力になる第1段階では、粗骨材とモルタル間の付着が損なわれて微細なひび割れが生じ、静弾性係数がわずかに低下する。最大応力のおよそ1/2の応力になる第2段階では、粗骨材の周辺で生じた局所的なひび割れがモルタル中に進展する。最大荷重のおよそ80%の応力を超える第3段階では、ひび割れが互いに連結して大きなひび割れが形成し始める。

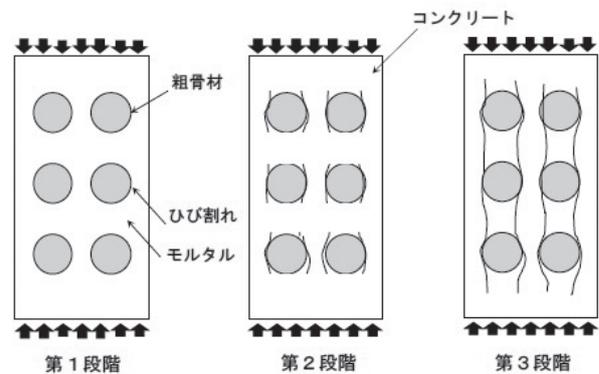
2.2 コンクリートの圧縮強度試験時における端面摩擦の影響

図-2に、圧縮試験機の端面摩擦の違いによる円柱供試体の破壊域³⁾を示す。通常の圧縮強度試験では、圧縮試験機の加圧板と円柱供試体との間に端面摩擦⁴⁾が生じて図-2(a)のように加圧板付近のコンクリートは三軸圧縮状態となり、端面摩擦がない場合と比較して破壊域は円柱供試体端部から離れる方向となる。この現象により破壊パターンは、多くのひび割れが縦方向に生じる圧壊割裂型ではなく、せん断破壊型になりやすい。一方、図-2(b)のように圧縮試験機加圧板と円柱供試体端部間に

テフロンシートなどの減摩材を挿入することによって端面摩擦を減じた場合、1軸圧縮载荷した時の円柱供試体の破壊域は軸方向に拡がり、その範囲の最弱部から破壊に至る。著者らの研究^{5,6)}においても、加熱冷却後のモルタル試験体からコアを採取して圧縮強度試験を行い、試験機加圧板とモルタルコア両端部との端面摩擦を低減することによって、コア端部の火害部で破壊に至ることを確認している。

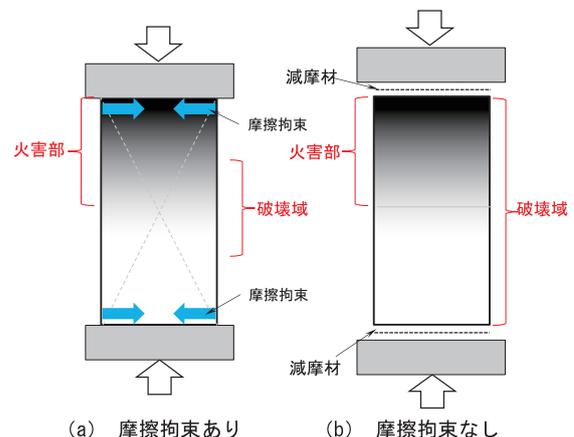


(a) 荷重過程



(b) 破壊の進行

図-1 コンクリートの圧縮破壊過程



(a) 摩擦拘束あり (b) 摩擦拘束なし

図-2 コンクリート試験機の端面摩擦の影響

2.3 コンクリートの圧縮強度試験時における変形特異点と臨界応力度

図-3に、コンクリートの圧縮強度試験時における圧縮応力と縦ひずみ、横ひずみ、体積ひずみおよび変形特異点の関係を示す。なお、体積ひずみは縦ひずみと横ひずみから式(1)により算出した⁷⁾。変形特異点はコンクリートの体積が膨張に転じた時点を示し、その時の応力は臨界応力度と定義されている。臨界応力度は図-1に示した第3段階の応力レベルを示し、クリープ限界応力や端面摩擦を減じた圧縮強度試験で得られる最大荷重にほぼ相当する³⁾。

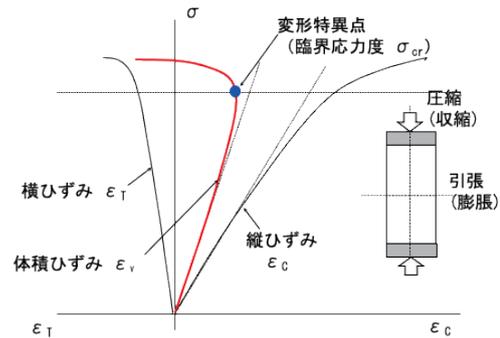


図-3 体積ひずみと臨界応力度

火害部から採取したコアは、火災時の高熱により細骨材および粗骨材の周辺またはセメントペースト間に生じたひび割れが内在し、加熱面側が火害部、その反対側が非損傷部となっている。コアの圧縮強度試験時における体積ひずみは、加熱面近傍では荷重初期の段階から膨張に進展し、その後、加熱面から内部(コアの軸方向)に向かって徐々に収縮から膨張に転じて臨界応力度に達すると推測される。

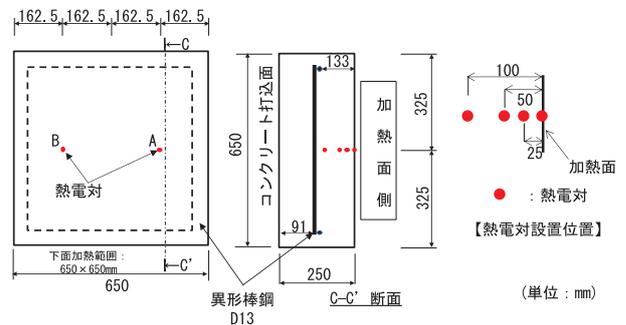


図-4 試験体の形状と寸法

$$\epsilon_V = \epsilon_C - 2\epsilon_T \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

ϵ_V : 体積ひずみ、 ϵ_C : 縦ひずみ、 ϵ_T : 横ひずみ

3. コンクリートの加熱実験と圧縮強度試験

本実験は採取したコア軸方向の各深さにおける体積ひずみ挙動と臨界応力度を把握することを目的として、コンクリート試験体(以下、試験体と記す)を使用して、以下の実験を行った。

3.1 加熱実験概要

3.1.1 試験体

図-4に試験体の形状と寸法を、表-1にコンクリートの調合および使用材料を示す。試験体作製時のフレッシュコンクリートの性状は、スランプは18.5cm、空気量は4.2%、封緘養生した材齢28日の円柱供試体の圧縮強度平均値は35.7N/mm²であった。試験体は2体作製した。作製した試験体は材齢7日で脱型し、加熱実験に供するまで屋内にて静置した。また、図-4のとおり、加熱実験中の試験体の温度を計測するため、K型熱電対を加熱面(深さ0mm)および内部(加熱面から深さ25、50、100mm)に設置した。

表-1 コンクリートの調合および使用材料

W/C	s/a	単位量(kg/m ³)					
		W	C	S ₁	S ₂	G	A
57.6	44.7	180	295	560	240	1023	2.950

注) 使用材料を以下に示す。
 W/C : 水セメント比 (%)
 s/a : 細骨材率 (%)
 W : 地下水
 C : 普通ポルトランドセメント (密度 : 3.16g/cm³)
 S₁ : 大分県津久見市産砕砂 (表乾密度 : 2.55g/cm³)
 S₂ : 京都府亀岡市産砕砂 (表乾密度 : 2.64g/cm³)
 G : 京都府亀岡市産碎石 (表乾密度 : 2.68g/cm³)
 A : AE減水剤標準型I種

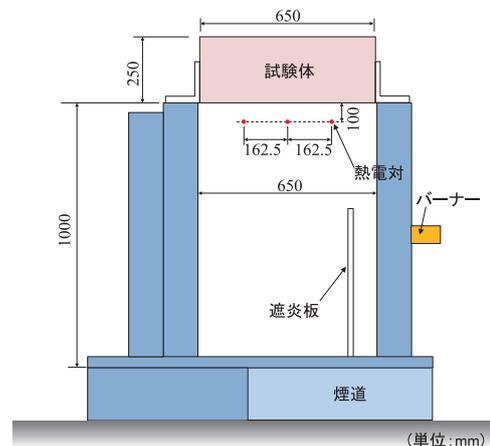


図-5 加熱装置

3.1.2 加熱方法

図-5に、試験体の加熱に用いたガス加熱炉を示す。試験体はコンクリートの型枠面である下面(650×650mm)を加熱するように加熱炉に設置した。

加熱方法は、都市ガス(46,090kJ/m³)を熱源として、ISO834に規定する標準加熱曲線に沿って炉内温度を上昇させ、試験体加熱面が500℃となるまで加熱し、コンクリートの内部に明確な温度分布を設けることを目的として、その加熱面温度を500℃に保持するよう炉内温度を1時間制御した後、加熱を終了した。加熱終了後は加熱炉側面の炉蓋を開放し、室温になるまで試験体を静置した。炉内温度は、試験体加熱面から100mm離して設置した3本の熱電対を用いて計測した。また、加熱炉内のバーナーの前には、加熱炉内温度が均等なるように遮炎板を設置した。コンクリートの加熱面の温度は、試験体の加熱面に予め設置した熱電対で測定した。なお、作製した試験体2体のうちの1体は、加熱後の試験体と比較するため加熱を行わなかった(以下、未加熱試験体と記す)。

3.1.3 加熱実験結果

図-6に、炉内温度、試験体加熱面および内部に設置した熱電対の温度履歴を示す。図より、加熱実験に供した試験体の加熱面は500℃に加熱され、その温度を1時間保持していたことが確認できる。また、試験体内部に設置した各深さの熱電対2箇所での平均温度の最高値は、②357℃、③240℃および④125℃であった。これらの結果から、加熱後の試験体は、加熱面から内部に向かって温度勾配が生じていることを確認した。

3.2 コアの圧縮強度試験

3.2.1 圧縮強度試験体の採取方法および試験方法

圧縮強度試験に供するコアは、JIS A 1107:2012⁸⁾に基づき、加熱冷却後の試験体の加熱面および未加熱試験体からそれぞれ3本ずつ採取した。加熱冷却後の試験体の記号を500-1~500-3、未加熱試験体の記号をND-1~ND-3と記す。採取には湿式のコアマシンを用いた。採取したコアは、同JIS規格に規定される直径を満足し、高さは直径の2倍として整形した後、圧縮強度試験に供した。

圧縮強度試験については同JIS規格に基づいて実施し、その際、圧縮試験機加圧板とコア上下端面との間には、端面摩擦を低減するために減摩材(テフロンシート2枚の間にグリース塗布)を挿入した。

3.2.2 コア軸方向における各深さの体積ひずみ測定

圧縮強度試験において、コア軸方向における各深さの体積ひずみを測定した。測定方法は、JIS A 1149:

2017⁹⁾を参考に、図-7に示す①~⑦の位置に縦ひずみゲージを、その縦ひずみ計測位置から円周方向に90度回転させた軸方向と平行かつ対象な二つの線上に横ひずみゲージを、合計28枚貼付した。この①~⑦のゲージを用いて圧縮強度試験開始からコアが破壊に至るまでに生じる各縦ひずみおよび横ひずみを測定し、式(1)により体積ひずみを算出して臨界応力度を求めた。

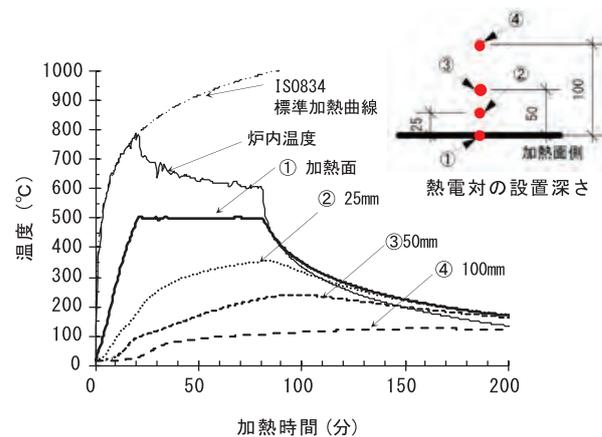


図-6 ISO標準加熱曲線、炉内温度およびコンクリート温度履歴

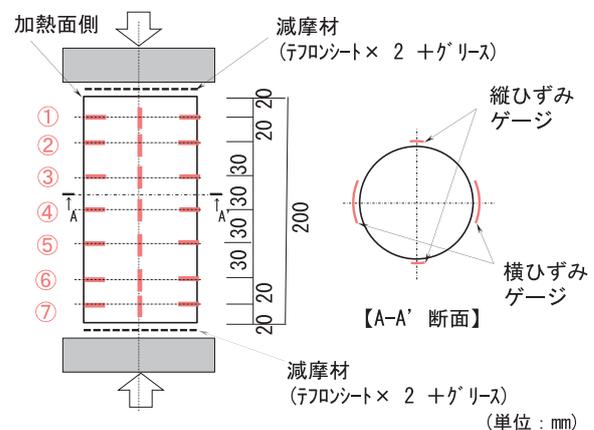


図-7 コアのゲージ貼付位置

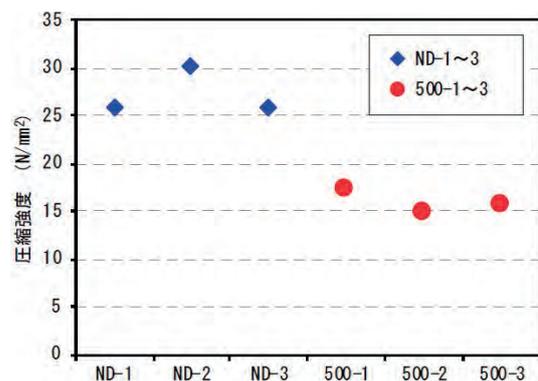


図-8 コアの圧縮強度

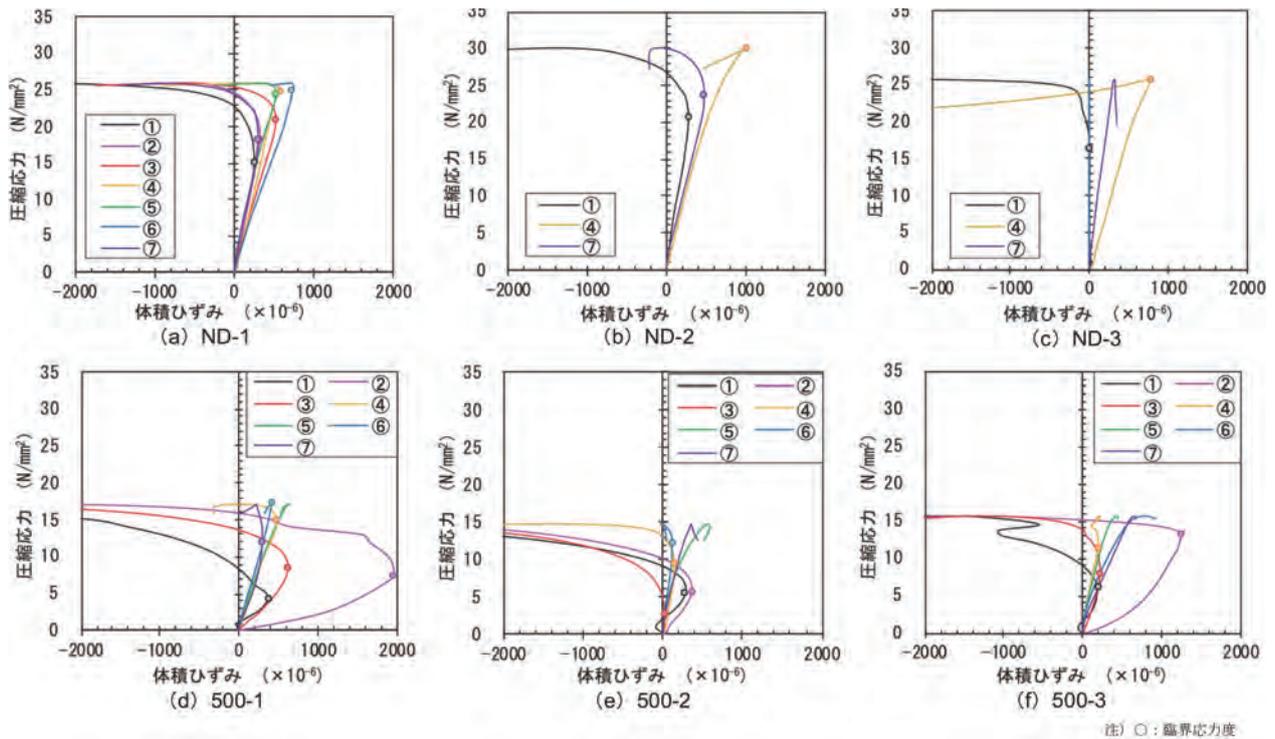


図-9 圧縮応力と多点体積ひずみとの関係

3.2.3 コアの圧縮強度試験結果

図-8にコアの圧縮強度結果を示す。未加熱試験体のND-1～ND-3の平均値は27.2 N/mm²であった。一方、加熱冷却後のコア500-1～500-3の平均値は15.9 N/mm²であり、加熱冷却後の試験体の圧縮強度残存比は0.58であった。

3.2.4 コアの圧縮応力と体積ひずみおよび臨界応力度

図-9にコアの圧縮応力と体積ひずみの関係を示す。同図の(a)～(c)は未加熱試験体：ND-1～ND-3、(d)～(f)は加熱冷却後の試験体：500-1～500-3におけるコア軸方向①～⑦のそれぞれの体積ひずみを示す。ただし、ND-2およびND-3については、コア軸方向中央部の④、および上下端部の①、⑦のみ計測を行った。また、圧縮強度試験後のコアが臨界応力度に至った順番を表-2に示す。

図-9および表-2より、未加熱試験体ND-1の体積ひずみは、荷重初期より収縮挙動を示したが、圧縮応力の増加に伴いコア両端部から中央部に向かって徐々に臨界応力度に到達し、ひずみ測定位置④および⑥が最も臨界応力度が高かった。このことから、2.2節または筆者らの研究^{5,6)}に示したように、端面摩擦を低減した状態で一軸圧縮荷重することにより、圧壊割裂型の破壊パターンを示したことが確認できる。ND-2およびND-3では、コアの上下端部および中央部の3箇所の体積ひずみの挙

表-2 コアの臨界応力度

コア記号	圧縮強度 (N/mm ²)	臨界応力度 (N/mm ²)						
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
ND-1	25.8	15.1 (1)	18.1 (2)	20.9 (4)	25.0 (6)	24.2 (5)	25.0 (6)	18.1 (2)
ND-2	30.1	20.8 (1)			30.1 (3)			23.8 (2)
ND-3	25.8	16.3 (1)			25.8 (2)			25.8 (2)
500-1	17.1	4.2 (1)	7.3 (2)	8.4 (3)	15.0 (5)	—*2	17.1 (6)	11.9 (4)
500-2	14.8	5.6 (2)	5.6 (2)	2.5 (1)	9.5 (4)	—*2	12.2 (5)	—*2
500-3	15.7	6.2 (1)	13.1 (3)	7.9 (2)	15.7 (4)	—*2	—*2	—*2

注) *1: 表中の () 内の数値は臨界応力度に到達した順番を示す。
*2: 臨界応力度に達しなかった。

動を測定し、その結果、ひずみ測定位置⑦以外では中央部よりも上下端部が先行して臨界応力度に達していることを確認した。

加熱冷却後の試験体500-1～500-3では、荷重初期にひずみ測定位置①だけは膨張挙動を示したが、その後、圧縮応力の増大に伴いすべてのひずみ測定位置①～⑦は収縮挙動を示し、500-1では明確にコアの上端(加熱面側)近傍から順に膨張に転じて臨界応力度に達しており、500-2および500-3でも似たような傾向が見られた。

この結果から500-1～500-3は、図-2(b)のように、試験機加圧板とコア上下端面間に減摩材を介して、体積ひずみの臨界応力度を求めることで、火害による破壊部

分と非破壊部分の境界を捉えることができると考えられる。なお、500-2および500-3のコア下端では、体積ひずみ変形特異点に達していないことから臨界応力度は求められていない。これは、コアの上下端部から順番に破壊に至った未加熱のND-1～ND-3とは異なり、500-1～500-3では、載荷初期よりコア上端（加熱面側）の破壊域の最弱部から先行して破壊に至ることから、その体積変化により非破壊域のコア下端まで臨界応力度に達しなかったと推測する。

3.2.5 臨界応力度と圧縮強度との比から推定した 火害損傷深さ

図-10に、水セメント比と臨界応力度と圧縮強度の比（以下、 σ_{cr}/σ_c と記す）との関係を示す。 σ_{cr}/σ_c については、コンクリートの調合の違いにより加藤らの研究¹⁰⁾では0.75～0.89、小阪・谷川¹¹⁾らの研究では0.86～0.92、奥島らの研究¹²⁾では0.88～0.93であることが実験によって明らかにされている。なお、図中の赤い破線は本実験で使用したコンクリートの水セメント比0.58を示す。同図により各実験データを参考として求めた水セメント比0.58の臨界応力度は、未加熱の場合0.76～0.91の範囲であると考えられる。

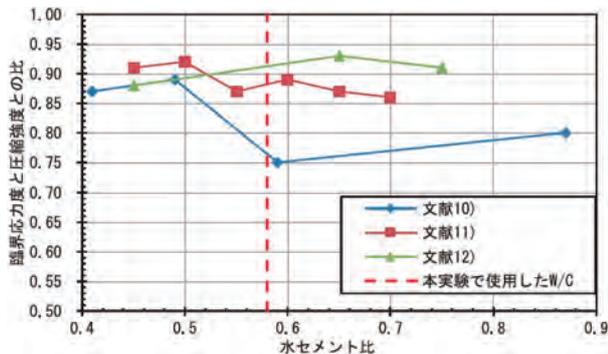


図-10 水セメント比と臨界応力度と圧縮強度の比との関係

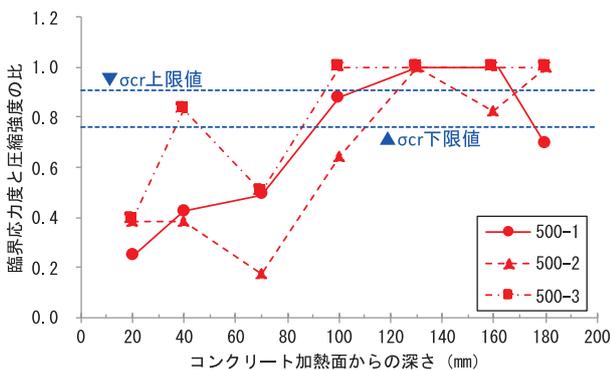


図-11 コンクリート加熱面からの深さと
臨界応力度と圧縮強度の比との関係

図-11に、本結果で得られたコンクリート加熱面からの深さと σ_{cr}/σ_c との関係を示す。なお、臨界応力度に達していない深さは「 $\sigma_{cr}/\sigma_c=1$ 」と示す。

図より、 σ_{cr}/σ_c は火害部の加熱面側に近づくほど低くなる傾向を示し、加熱面から130mmでは臨界応力度は認められなかった。未加熱の σ_{cr}/σ_c の下限値(0.76)を閾値とした場合、 σ_{cr}/σ_c と σ_{cr} 下限値との交点から、破壊域と非破壊域の境界は加熱面から深さ85mm～110mmの間にあると推測される。加熱面側のコンクリートの σ_{cr}/σ_c の低下については、筆者らの研究¹³⁾では、加熱冷却後のコンクリート円柱供試体の σ_{cr}/σ_c の結果より、加熱温度の上昇に伴い σ_{cr}/σ_c は直線的に低下することから、加熱面側に生じた σ_{cr}/σ_c の低下については加熱によるものと判断できる。なお、500-1はコア下端（ひずみ測定位置⑦）が臨界応力度に達していたが、これについては、コンクリート打込み時に発生するブリーディングなどによる脆弱部がコア下端に存在し、破壊に至った可能性があるとして推測する。

本実験より、限定的ではあるが、火害部から採取したコアの破壊域の臨界応力度から σ_{cr}/σ_c を求めることによって、火害部コンクリートの損傷深さを把握できる可能性を示した。

4. 本測定方法を適用した火害調査事例

本章では、3章で示した火害損傷深さの推定方法について、その適用範囲を確認することを目的として、以下に示す火災を受けたRC造建物の構造部材から採取したコアを対象とした試験により求まる、コア軸方向の各深さにおける体積ひずみ挙動と σ_{cr}/σ_c をもとに、損傷深さを推定できるか否かを確認した。

なお、事例に示した構造部材に使用されたコンクリートについては、水セメント比が不明である。従ってここでは、設計基準強度を一つの閾値として考察を加えることをお断りしておく。

4.1 火害調査事例①

4.1.1 火災状況

出火推定時刻：2019年7月18日 時刻不明

消火開始時刻：2019年7月18日 午後2時22分

鎮圧時刻：不明

鎮火時刻：2019年7月18日 午後5時頃

4.1.2 コア採取部材の概要

- ・対象部材：RC造 壁
- ・壁厚：250 mm

- ・コンクリート壁火災面の変状：ピンク色、亀甲状のひび割れあり（推定受熱温度：500℃以上）
- ・鉄筋の呼び名：D13, @ 200mm
- ・コンクリートの設計基準強度：21N/mm²
- ・コア採取本数：1本（直径75mm、長さ150mm）
- ・コアの体積ひずみ測定位置：火災面より深さ20mmから120mmまでを20mm間隔で計6箇所（測定位置は図-7を参考として火災面側から①～⑥とした）



写真-2 圧縮試験時のコア（火害調査事例①）

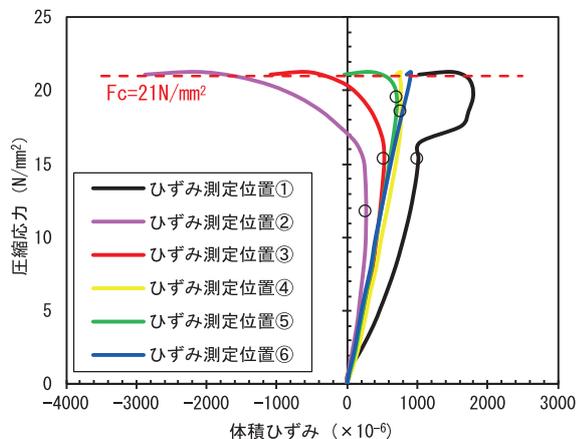


図-12 コンクリート加熱面からの深さと臨界応力度（火害調査事例①）

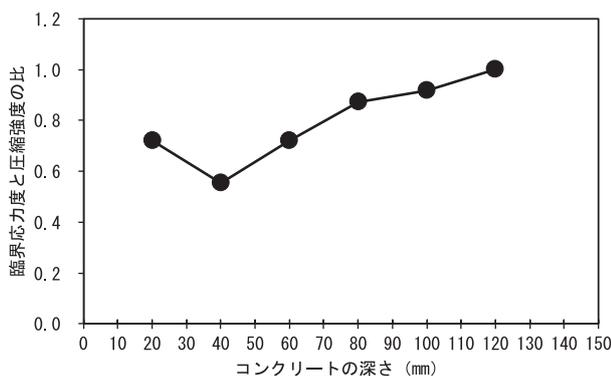


図-13 コンクリート火災面からの深さと臨界応力度と圧縮強度の比との関係（火害調査事例①）

4.1.3 コアの圧縮応力と体積ひずみおよび臨界応力度

写真-2に圧縮試験時のコアの多点ひずみ測定の状態を示す。また、図-12にコアの圧縮応力と体積ひずみとの関係を、図-13にコンクリート表面からの深さと σ_{cr}/σ_c との関係を示す。

図-12のように、火災面から60mmまでの深さ（ひずみ測定位置①～③）では臨界応力度は比較的低い傾向を示しているが、それ以深の80,100および120mm（ひずみ測定位置④～⑥）では図中に示す破線（ $F_c=21\text{N/mm}^2$ ）の付近で臨界応力度に達している。また、図-13のように、 σ_{cr}/σ_c は火災面から40mmの深さで最低値を示し、それより以深では σ_{cr}/σ_c は緩やかに増加した。図-12および図-13の結果を勘案すると、採取したコアの破壊域、つまり火害損傷深さは火災面から60mm～80mmであると推測した。なお、図-13に示すひずみ測定位置①の圧縮応力 16.5N/mm^2 時にみられた体積ひずみの増大は、その深さにおけるひび割れの挙動が横ひずみに現れたもので、かつ、ひずみゲージの測定範囲外で発生したことに起因すると考えられる。加えて、コアを採取したコンクリートの火災面はピンク色に呈色し、亀甲状のひび割れが認められていることなどから受熱温度は500℃以上と推定されている。これらのことから、同部の σ_{cr}/σ_c は火害部であったと推測される。

4.2 火害調査事例②

4.2.1 火災状況

出火推定時刻：2016年8月 時刻不明

消火開始時刻：不明

鎮圧時刻：不明

鎮火時刻：不明

4.2.2 コア採取部材の概要

- ・対象部材：RC造 スラブ下面（火災室の天井面）
- ・スラブ厚：250mm
- ・コンクリートスラブ火災面の変状：煤が付着、亀甲状のひび割れなし（推定受熱温度：300度以下）。
- ・鉄筋の呼び名：D13, @ 200mm
- ・コンクリートの設計基準強度：18N/mm²
- ・コア採取本数：1本（直径65mm、長さ130mm）
- ・コアの体積ひずみ測定位置：火災面からの深さ10mmから70mmまでを20mm間隔で計4箇所（測定位置は図-7を参考として火災面側から①～④とした）

4.2.3 コアの圧縮応力と体積ひずみおよび臨界応力度

図-14にコアの圧縮応力と体積ひずみとの関係を、図

-15にコンクリート火災面からの深さと σ_{cr}/σ_c との関係を示す。

図-14に示すように、火災面から70mmまでの深さの領域では、図中に示す破線($F_c=18\text{N/mm}^2$)を超えた範囲で臨界応力度に達している。また、図-15に示すように、火災面から70mmまでの σ_{cr}/σ_c は0.83~0.88で推移しており低下は確認できない。なお、コアを採取したコンクリートの火災面は、煤が付着しているが亀甲状のひび割れはなかったことから受熱温度は300℃以下であることが推定されている。これらのことから、コアを採取した構造部材では深さ方向における火害の損傷を受けていないと推測した。

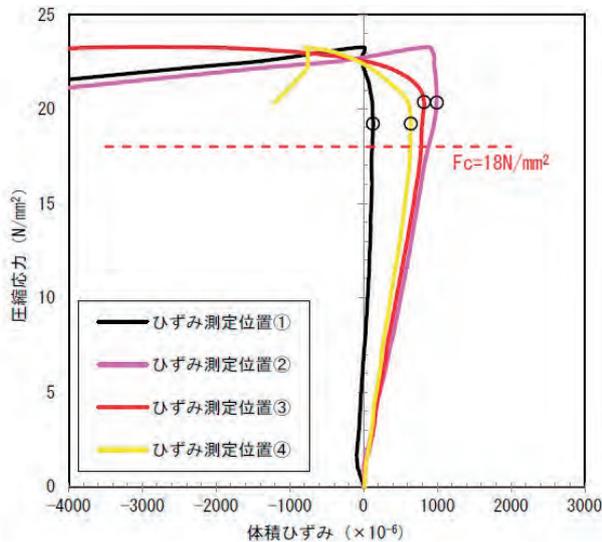


図-14 コンクリート加熱面からの深さと臨界応力度 (火害調査事例②)

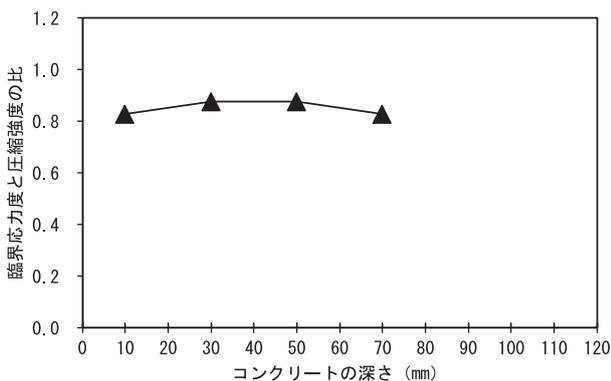


図-15 コンクリート火災面からの深さと臨界応力度と圧縮強度の比との関係(火害調査事例②)

5. 結論

本研究では、火害診断において採取するコアを用いた圧縮試験時に求める、コア軸方向の各深さにおける体積ひずみ挙動と σ_{cr}/σ_c に基づき、火害損傷深さが推定可能か否かを検討した。本研究において得られた知見を以下にまとめる。

- ・コアの圧縮強度試験時に試験機加圧板とコア上下端部の摩擦を低減することにより、破壊モードは圧壊割裂型となる。またその際、コア上端(加熱面側)の最弱部から先行して徐々に内部に向かって臨界応力度に達する傾向がある。
- ・試験機加圧板とコア上下端部の摩擦を低減したコアの圧縮強度試験を用いることにより、コア軸方向の各深さの臨界応力度と圧縮強度との比から、火害損傷深さが推定できる可能性を示した。
- ・火災を受けた建物の構造部材から採取したコアを用いて、火害損傷深さの推定方法を適用した結果、構造部材のコンクリート火災面からの火害損傷深さを推定できる可能性を示した。

6. 今後の課題

火害損傷深さの推定方法については、未だ確立された方法はない。また本方法においてもデータが蓄積されていないのが現状である。近年では、数日間火災が続く事例もあることなどを考慮すると、今後も継続して様々な火災事例に対して火害損傷深さ測定方法を検討していくことが必要であると考えている。

また、3章で示した火害損傷深さの推定方法については、ひずみゲージによる限られた測定範囲の研究結果である。今後は、圧縮試験時において試験体に生じる膨張収縮挙動を動的に解析する画像相関法などにより、測定対象となるコア側面において広範囲の測定が可能で、かつ、簡便で高精度な方法についての検討も視野に入れて研究を重ね、火害診断へ展開させることが課題となる。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：建物の火害診断および補修・補強方法 指針・同解説, 2015.2
- 2) 春畑仁一, 新井真, 池田憲一：火災を受けたコンクリート部材から採取したコアの圧縮応力-体積ひずみ曲線による変形特異点を用いた火害損傷深さの推定に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集 第84巻 第765号, pp.1497-1502, 2019.11
- 3) 谷川恭雄 監修：硬化コンクリートの性質, セメントジャーナル, 2004.10
- 4) 大内千彦, 寺西浩司, 立松和彦, 谷川恭雄：載荷面の摩擦を軽減させたコンクリートの圧縮強度試験で得られる変形特異点に関する一考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.1221-1222, 2010.9
- 5) 新井真, 春畑仁一, 池田憲一：火災を受けたモルタルの圧縮強度試験による劣化深さ推定に関する基礎的研究 その1 実験概要, コアの圧縮強度, 縦ひずみ分布および摩擦拘束の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 防火, pp.71-72, 2019.9

- 6) 春畑仁一, 新井真, 池田憲一: 火災を受けたモルタルの圧縮強度試験による劣化深さ推定に関する基礎的研究 その2 火災劣化を受けたモルタルコアの体積ひずみと臨界応力度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 防火, pp.73-74, 2019.9
- 7) 日本コンクリート工学会: コンクリート便覧, 技報堂出版, p78, 1976.2
- 8) 日本産業規格: コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法 JIS A 1107, 2012
- 9) 日本産業規格: コンクリートのせい弾性係数試験方法 JIS A 1149, 2017
- 10) 加藤清志: プレーンコンクリートの微小ひびわれと物性評価, 土木学会論文報告集, 第208号, 1972.12
- 11) 小阪義夫, 谷川恭雄: コンクリートの破壊挙動に及ぼす粗骨材の影響 (第3報: 特異点応力度による検討), 建築学会論報, 第233号, 1975.7
- 12) 奥島正一, 鈴木計夫, 中塚信: モデル粗骨材を用いたコンクリートの力学性状について, セメント技術年報, XXV11, 1973
- 13) 岸仁志, 新井真, 春畑仁一, 池田憲一: 火災を受けたコンクリート部材から採取したコアを用いた火災劣化深さの推定に関する基礎的研究 その4 電気炉で600℃以上に加熱したコンクリート円柱供試体の臨界応力度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 防火, pp.169-170, 2021.9

【執筆者】

*1 春畑 仁一
(HARUHATA Masakazu)



*2 新井 真
(ARAI Makoto)



*3 池田 憲一
(IKEDA Kenichi)