

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420561

研究課題名(和文) 衝撃圧と熱的作用を受けたRC部材の損傷と耐久性評価に基づく最適補強設計法の確立

研究課題名(英文) Development of optimum reinforcement of RC member suffered from high temperature and detonation

研究代表者

今本 啓一 (Imamoto, Kei-ichi)

東京理科大学・工学部第二部建築学科・教授

研究者番号：60337300

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、衝撃圧と熱的作用を受けた構造物における損傷を評価し、適切な補修・補強工法の開発・提案を行うものである。高温加熱を受けることにより、コンクリート中の物質移動が極めて容易となり、その耐久性に及ぼす影響の大きいことを明らかにし、表面含浸材による水分浸透抑制効果を付与した補修工法を提案した。また衝撃圧を受けたコンクリート部材の非破壊的な損傷評価方法を提案するとともに、主にアラミド繊維による補強方法の有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：This study proposes repair and retrofitting method for damaged reinforced concrete member due to high temperature and detonation. Aggressive agent easily transports in concrete suffered from high temperature and this phenomenon obviously affects durability of concrete structure. Authors indicated that surface impregnation agent was effective as repair material to prevent moisture ingress into concrete. Nondestructive test method to evaluate damage of concrete due to detonation was also proposed and effectiveness of retrofitting method using aramid fiber was verified. Basic information for the repair and retrofitting methods for damaged concrete member due to high temperature and detonation were obtained through out this project.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：熱的作用 爆轟損傷 表面含浸材 物質移動 アラミド繊維 補強

1. 研究開始当初の背景

爆風などの衝撃圧や火災などの熱的作用を受けた鉄筋コンクリート (RC) 部材の挙動に関するこれまでの研究では、衝撃圧については破壊の有無¹⁾、火災については圧縮強度などの力学特性への影響²⁾に主に着眼点がおかれる。すなわち、これら被災した構造物の診断では、その被災程度を踏まえて供用の可否を判定し、強度特性を踏まえて補修・補強方法の検討を行うことが一般的である。しかし、福島第一原子力発電所のように水素爆発 (爆轟) による損傷を受けた後も約 30 年以上は構造物を長期的に自立させざるを得ないケースや、火災を受けた構造物でもその後供用し続けるような多数のケースを鑑みると、損傷を受けた構造物に対する耐久性の視点もまた必要と考える。いうならば、このような衝撃圧や熱的な損傷を受けた構造物の時間の経過に伴う構造物の性能の低下 (耐久性) は、損傷を受けていない通常の構造物と比較して顕著となることが憂慮される。さらには近年、東日本大震災に見られる津波の漂流物や、他方、竜巻の飛来物等による構造物への損傷が発生する事例が見受けられ、この意味で、衝撃圧や熱的作用を受けた構造物に対する健全度診断、補修・補強および維持管理の事例は今後増えることが予想される。しかしながら、衝撃圧および熱的作用による損傷を受けた構造部材の長期的な変形や耐久性に関する情報は現状、皆無に近い。

参考文献

- 1) (社) 土木学会：防災・安全対策技術者のための衝撃作用を受ける土木構造物の性能設計 - 基準体系の指針 -, 構造工学シリーズ 22 号, 2013.7
- 2) (社) 日本建築学会：建物の火災診断および補修・補強方法指針 (案)・同解説, 2010.2
- 3) 依田祐果, 今本啓一, 別府万寿博他：爆轟を受けたコンクリートの損傷評価と耐久性, 日本建築学会学術講演梗概集 材料施工, pp.463-464, 2013.

2. 研究の目的

構造物は時として爆風荷重や熱的作用を受けた後にも自立している必要がある。例えば建屋や格納容器内部において爆発 (爆轟) や極高温作用を受けた福島第一原子力発電所は解体までの期間は自立している必要があり、他にも火災を受けた建物がその後も供用されるケースは多い。しかしながら、このような衝撃圧および熱的作用による損傷を受けた構造部材の長期的な変形や耐久性に関する情報は現状、皆無である。損傷を受けた構造物を長期に渡って供用するためには、構造物の使用性や安全性の時間変

化としての「耐久性」を評価することが重要である。本研究は、衝撃圧と熱的作用を受けた構造物における損傷とクリープ変形や鉄筋腐食進行の関係を解明し、この耐久性評価に基づく構造物の補修・補強工法の開発・提案を目指すものである。

3. 研究の方法

本研究は、RC 構造物の損傷と力学特性・耐久性の関係に基づき補強方法を提案するものである。従ってこれらの関連を「実験的に明確化するとともに、実構造物への適用を想定し、これらの関係を「シミュレーション」と「非破壊試験」によって評価する。このため、本研究は、下図中①～④の個別の項目により構成・計画する。

1. 衝撃圧や熱的作用を受けた RC 部材の損傷評価技術の提案とシミュレーション技術の確立 (①)
2. 損傷を受けたコンクリートの力学特性の把握とシミュレーションおよび非破壊試験による評価 (②)
3. 損傷を受けた RC 部材の耐久性の把握とシミュレーションおよび非破壊試験による評価 (③)
4. 損傷を受けた RC 部材の力学特性と耐久性評価に基づく最適補強設計法の提案 (④)

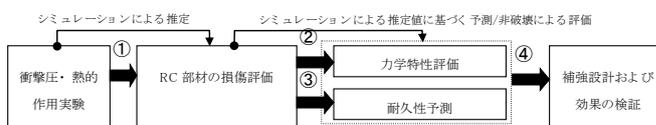


図1 研究の項目と流れ

4. 研究成果

「高温加熱を受けたコンクリートの補修方法に関する研究」として、300℃程度までの過熱を受けることにより、コンクリート中の物質移動が極めて容易になり、さらには損傷によるコンクリート内部のひび割れの存在によって物質移動がさらに助長されることを

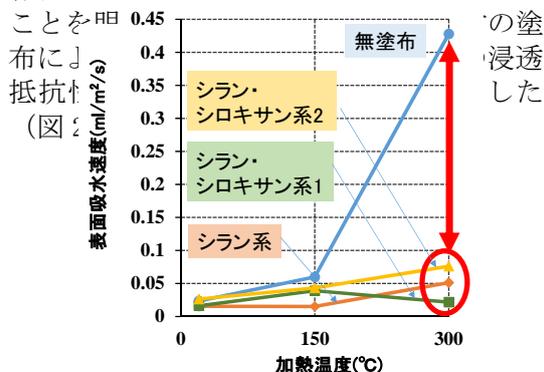


図2 表面含浸材塗布による表面給水速度の抑制効果

一方、「爆轟を受けた鉄筋コンクリート部材の補強方法に関する基礎的研究」として、

超音波法による非破壊的手法によりコンクリート内部の損傷の程度を評価できることを示した(図3,4)

表1 実験の組み合わせ

試験体	爆轟種類	爆薬量(g)	離隔距離(mm)	試験体数
No. 1	近接爆轟	80	170	1
No. 2			170	1
No. 3			200	1
No. 4			200	1
No. 5			100	1
No. 6	爆轟無し	無し	-	1

図3および4に示されるように、爆轟を受けることにより透気係数は大きく、また超音波伝搬速度は小さくなる。また図4に示されるように、爆轟点に近いほど超音波伝搬速度の低下はより顕著となり、超音波によって非破壊的に損傷の程度を評価できる可能性のあることを示した。

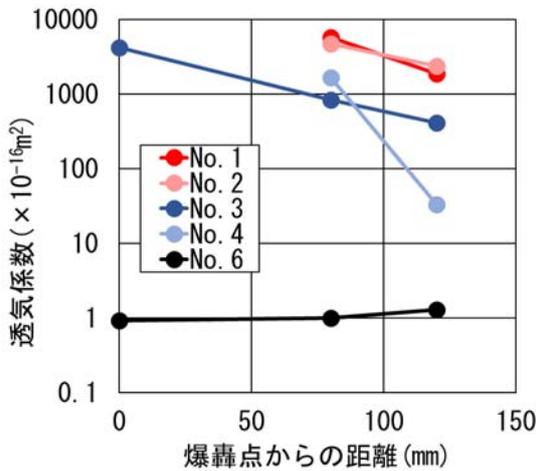


図3 透気係数の変化

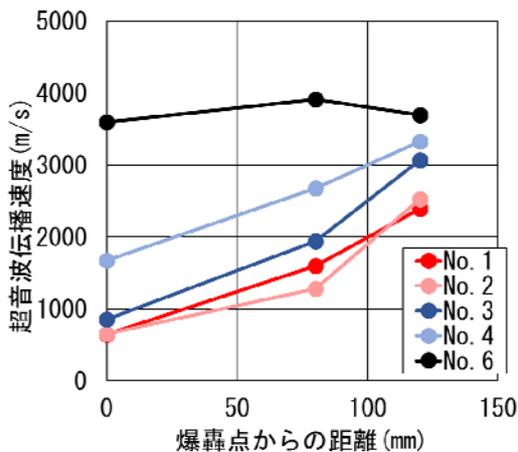


図4 超音波伝搬速度の変化

また、爆轟による損傷を受けたコンクリート部材の補強方法について検討を行った。表2に試験体の組み合わせを、図5に加力

方法を示す。試験結果を図6に示す。試験体の強度回復率は、No. 6 (爆轟損傷無し)を基準とし、補強後の最大荷重および初期剛性を百分率で示している。全試験体においてリファレンスである試験体 No. 6 よりも最大荷重が上回っている事が確認できた。また、各試験体の剛性においては No. 6 を基準とした場合、No. 1 が最も剛性値が高く、No. 5 は最も剛性値が低いと確認できた。これらの傾向は、各補強材の特性に対して爆轟による損傷が影響したと考える。また、ポリウレア樹脂を圧縮側に補強した事により、載荷荷重による亀裂増大を防止できる事が確認できた。

以上の傾向から、初期剛性の回復においては引張側のアラミド繊維シートによる補強が、最大荷重の回復においては HPRCC による補強が効果的な補強方法である事を示した。

表2 試験体の組み合わせ

試験体	補強方法		
	爆轟面(圧縮側)	非爆轟面(引張側)	側面および内部
No. 1	無し	アラミド繊維シート(1方向2枚)	無し
No. 2	ポリウレア樹脂(厚さ2mm)	アラミド繊維シート(1方向2枚)	無し
No. 3	無し	HPRCC(厚さ10mm)	無し
No. 4	ポリウレア樹脂(厚さ2mm)	HPRCC(厚さ10mm)	無し
No. 5	ポリウレア樹脂(厚さ2mm)	アラミド繊維シート(1方向2枚)	HPRCC(厚さ10mm)
No. 6	無し	無し	無し

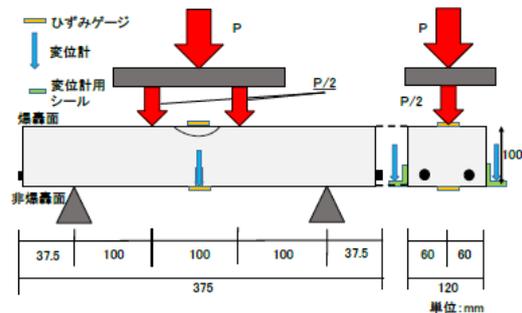


図5 加力方法

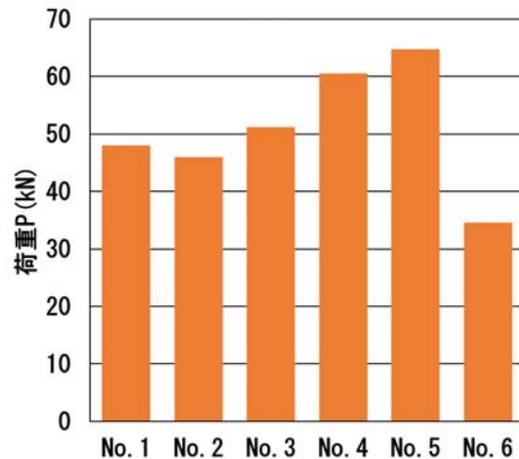


図6 各試験体の最大荷重

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

1. 清敦俊・今本啓一・別府万寿博・小澤満津雄・清原千鶴, 爆轟を受けた鉄筋コンクリート部材の補強方法に関する基礎的研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, 第 87 回, pp.25-26, 2017.3
2. 清敦俊・清原千鶴・別府万寿博・小澤満津雄・鉄羅健太, 爆轟を受けた鉄筋コンクリート部材の曲げ性能評価に関する研究, 第 16 回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, pp.473-477, 2016.10
3. 清敦俊・今本啓一・清原千鶴・別府万寿博・小澤満津雄, 熱的損傷を受けた材齢約 30 年のコンクリートのクリープ挙動, 日本建築学会学術講演梗概集, A-1 分冊, p.211-212, 2016.8
4. 清敦俊・今本啓一・清原千鶴・小澤満津雄, 高温加熱を受けた材齢約 30 年のフライアッシュコンクリートのクリープ特性, セメント技術大会講演要旨, 70 回, pp.168-169, 2016.5
5. 清敦俊・今本啓一・別府万寿博・小澤満津雄・清原千鶴, 爆轟を受けた鉄筋コンクリート部材の耐久性と構造性能に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, 第 86 回, pp.83-84, 2016.3
6. 今本啓一・清原千鶴, 爆轟を受けた鉄筋コンクリート部材の損傷程度と曲げ性能の関係に関する基礎的研究, 日本建築学会学術講演梗概集, A-1 分冊, p.683-684, 2015.8
7. 鉄羅健太, 小澤満津雄, 別府万寿博, 清原千鶴, 今本啓一: 供用 40 年の中庸熱ポルトランドセメントを使用した RC 構造物から採取したコアコンクリートの加熱後の物質侵入抵抗性, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集, 材料学会, 第 15 巻: pp.297-302, 2015 年 10 月
8. 依田祐果・今本啓一・別府万寿博・清原千鶴, 爆轟を受けたコンクリートの非破壊損傷評価方法, 日本建築学会関東支部研究報告, 第 85 回, pp.93-95, 2015.3
9. 依田祐果・今本啓一・清原千鶴, 高温加熱を受けたコンクリートのクリープ特性, 日本建築学会関東支部研究報告, 第 85 回, pp.91-92, 2015.3
10. 依田祐果・今本啓一・清原千鶴, 極高温加熱を受けたフライアッシュコンクリートの圧縮クリープ特性, 日本建築学会学術講演梗概集, A-1 分冊,

pp.399-400, 2014.8

11. 依田祐果・今本啓一・清原千鶴, 極高温加熱を受けたコンクリートの細孔構造とクリープ特性, コンクリート工学年次論文集, vol.36, No.1, pp.772-777, 2014.7
12. Yuka Yoda, Kei-ichi Imamoto and Chizuru Kiyohara, Durability of reinforced concrete members suffered hydrogen detonation, RILRM International on performance-based specification and control of concrete durability, pp.481-487, 2014.6
13. 依田祐果・今本啓一・清原千鶴, 極高温加熱を受けたフライアッシュコンクリートのクリープ特性, セメント技術大会講演要旨, 第 68 回, pp.320-321, 2014.5
14. 依田祐果・今本啓一・清原千鶴, 極高温加熱を受けたフライアッシュコンクリートの細孔構造とクリープ特性, 日本建築学会関東支部研究報告, 第 84 回, pp.67-68, 2014.3
15. Yuka Yoda, Kei-ichi Imamoto, Masuhiko Beppu, Durability of reinforced concrete member suffered from detonation, The Seventh International Conference on Concrete under Severe Conditions - Environment and Loading (CONSEC13), No.2, pp.1630-1640, pp.2013.9
16. 依田祐果・今本啓一・別府万寿博・清原千鶴・庭野究, 爆轟を受けたコンクリートの損傷評価と耐久性, 日本建築学会学術講演梗概集, A-1 分冊, pp.463-464, 2013.8
17. 依田祐果・今本啓一・別府万寿博・清原千鶴・庭野究, 爆轟を受けたコンクリートの損傷評価と耐久性, 日本建築学会関東支部研究報告, 第 83 回, pp.5-6, 2013.3

[雑誌論文] (計 2 件)

[学会発表] (計 15 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今本 啓一 (Imamoto Kei-ichi)
東京理科大学工学部第二部建築学科・教授
研究者番号: 60337300

(2) 研究分担者

別府 万寿博 (Beppu Masuhiko)
防衛大学校システム工学群・教授

研究者番号：90532797

(3)連携研究者

小澤 満津雄 (Ozawa Mitsuo)

群馬大学理工学研究科・准教授

研究者番号：80313906