

爆轟を受けた鉄筋コンクリート部材への補強方法に関する基礎的研究

正会員 ○清 敦俊* 正会員 今本啓一*
 // 清原千鶴* // 別府万寿博**
 // 小澤満津雄*** //

爆轟 透気試験
 超音波試験 損傷 補強
 曲げ載荷試験

1. はじめに

福島第一原子力発電所にて生じた爆轟と呼ばれる爆発現象により、格納容器は重度の損傷を受け、長期に渡り、格納容器内からの燃料撤去作業が必要となる。しかしながら、損傷を受けた構造部材に対する損傷評価や具体的な補強方法および、その後の耐久性に関する研究は現状皆無に等しい。

本研究では、爆轟を受けた鉄筋コンクリート部材に対する補強方法を確立させることを最終目標とし、ここでは梁を模擬した鉄筋コンクリート部材を作製し、非破壊試験を用いて損傷程度を確認した後、最適な補強方法について、曲げ載荷試験を用いて検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

表-1 にコンクリートの品質を示す。試験体は、27-18-10N のレディーミクストコンクリートを用いた長さ375mm×幅120mm×高さ100mmの鉄筋コンクリート梁を使用した。かぶり厚さが25mmになるよう下部に異形鉄筋 D10 を2本配筋した。表-2 に爆轟条件を示す。近接爆轟は、試験で作製した専用の支台を用いて、C4 爆薬を試験体上部に設置し起爆を行った¹⁾。なお、爆薬の設置位置は試験体の中心部とした。試験体表面から爆薬までの高さを離隔距離とし、表-2 に示す。

2.2 補強方法

表-3 に実験水準を示す。アラミド繊維シートの貼付けは、試験体の長手方向に対し繊維の向きを揃え1方向2枚とし貼付けを施した。ポリウレア樹脂においては試験体表面に対し厚さ2mmで塗布を行った。HPFRCC(複数ひび割れ型繊維補強セメント複合材)は非爆轟面(引張側)にて厚さ10mmで吹付けを行った。各補強材の組み合わせは、補強前の非破壊試験結果および、曲げ載荷試験結果より、比較・検討のために選定した。

2.3 実験方法

(1)透気試験: 図-1 に透気試験測定箇所を示す。R.J.トレントによって開発された内外2層構造のチャンバーを用いて測定を行うダブルチャンバー法²⁾を用いた。爆轟の中心部から試験体の端部にかけて測定を行い、爆轟面および非爆轟面の損傷程度を補強前に確認した。

(2)超音波試験: 図-1 に超音波試験測定箇所を示す。既往の

表-1 コンクリートの品質

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
		W	C	S	G			
47.5	48	180	379	814	899	47.5	27.7	3.3

表-2 爆轟条件

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

表-3 実験水準

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	HPFRCC(厚さ10mm)	無し
No. 4	ポリウレア樹脂(厚さ2mm)	HPFRCC(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)	HPFRCC(厚さ10mm)
No. 6	無し	無し	無し

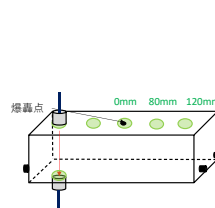


図-1 透気試験および超音波試験測定箇所

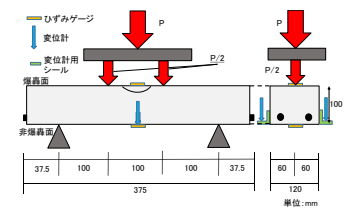
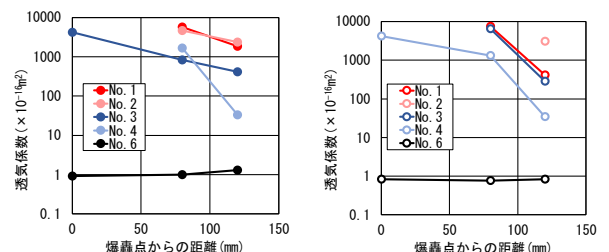


図-2 曲げ試験模式図



(a)爆轟面 (b)非爆轟面

図-3 透気係数と爆轟点からの距離の関係

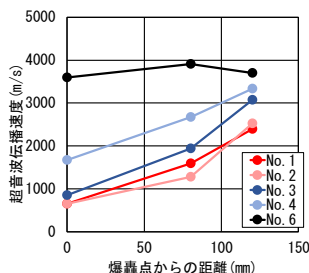


図-4 超音波伝播速度
爆轟点からの距離の関係

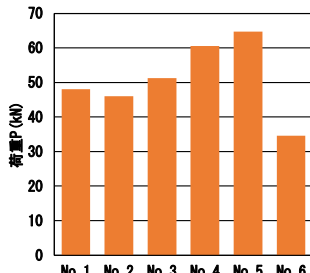
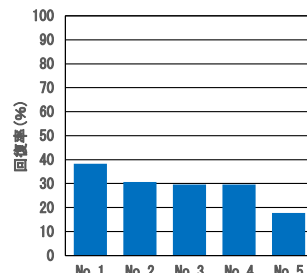
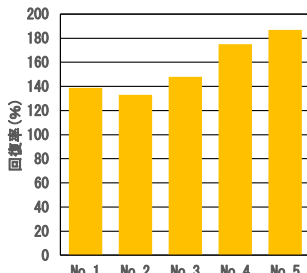


図-5 各試験体の最大荷重



(a)最大荷重(補強後/No.6) (b)初期剛性(補強後/No.6)

図-6 各試験体の最大荷重・初期剛性の回復率

研究結果³⁾より超音波試験は、補強前に透過法による測定を実施した。

(3)曲げ載荷試験: 図-2 に曲げ載荷試験模式図を示す。曲げ載荷試験は JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準じ、3 等分点載荷法による測定を行った。

3. 実験結果

3.1 透気試験結果

図-3 に透気係数と爆轟点からの距離との関係を示す。透気係数が上昇するほど、コンクリート内部の密度が小さいことを示しており、損傷程度も大きいと評価できる。図-3 に示すように爆轟により、離隔距離 170mm の No.1 および No.2 は中心部にひび割れが発生したことから、爆轟面および非爆轟面ともに透気係数が測定不可能であった。また、離隔距離が 100mm である No.5 は、爆轟により試験体が半壊したため、測定は不可能であった。いずれの試験体においても爆轟前よりも爆轟後の透気係数の方が大きい値を示しており、爆轟点に近いほど透気係数が大きくなっている。また、離隔距離が短いほど透気係数が大きい。

3.2 超音波試験結果

図-4 に超音波伝播速度と爆轟点からの距離との関係を示す。超音波伝播速度は、試験体内部の空隙が多いほど遅くなることから、超音波伝播速度が遅くなるほど損傷が大きいと考えられる。爆轟後における超音波伝播速度は、爆轟点に近いほど遅くなっており、また離隔距離が短いほど遅くなっている。

以上のことから、透気係数ならびに超音波伝播速度によって、爆轟を受けた鉄筋コンクリート部材に対する損傷評価が可能であることが示唆された。

3.3 曲げ載荷試験結果

図-5 に各試験体の最大荷重を、図-6 に各試験体の最大荷重・初期剛性の回復率を示す。試験体の回復率は、No.6 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 HPRC による補強が効果的な補強方法である事を示した。また、圧縮側におけるポリウレア樹脂による補強は、長期間の形状維持を行うことに有効であると考えられる。

4. まとめ

爆轟を受けた鉄筋コンクリート部材に対して異なる補強を施し、最も効果的な補強方法について検討を行った結果、以下の知見を得た。

- (1)補強を施した試験体は、通常の鉄筋コンクリート梁以上の最大荷重を得る事ができた。損傷を受けた試験体に対し、アラミド繊維シートおよび HPRC による補強が非爆轟面において各曲げ性能の回復率が高いと確認できた。
- (2)載荷荷重による亀裂防止や長期間の形状維持を考慮した場合において、アラミド繊維シートが効果的な補強方法であることを示した。

【謝辞】

本研究は、平成 26 年度科学技術研究補助金基盤研究(C) No.26420561 (代表: 今本啓一) の補助を受けました。

また本実験を遂行するにあたり、補強材を提供して頂いた前田工織株式会社の寺崎慎一様、株式会社デーロス・ジャパンの林承燦様、ライノジャパン株式会社の緒方修一様のご協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 大久保一徳, 大山浩代, 別府万寿博, 大野友則, 片山雅英: C4 爆薬の接触・近接爆発に対するコンクリート板の損傷評価, 構造工学論文集, Vol.53A, P1273-1283, 2007.3
- 2) R.J.Torrent: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, 1992
- 3) 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, pp.185-188, 2014

*東京理科大学
**防衛大学校
***群馬大学

*Tokyo University of Science
**National Defense Academy
***Gunma University