

(18) 鋼板の補強方法の相違によるRC板の耐衝撃性

防衛大学校土木工学科 小暮幹太
防衛大学校土木工学科 ○大野友則
防衛大学校土木工学科 内田 孝
鹿島建設技術研究所 河西良幸
鹿島建設技術研究所 坪田張二

1. はじめに

衝撃荷重を受けるコンクリート部材の応答は、貫入・貫通および裏面剥離などの局部応答と曲げやせん断による全体応答に大別できる。構造物の質量に比して衝突体の質量が小さく衝突速度が大きい場合(数10m/secから数100m/sec)には、全体よりも局部応答による破壊が重要な問題であり、局部破壊の大きさを推定する評価式が数多く報告されている。また、局部破壊に対する耐衝撃性の向上を目的としたコンクリート部材の開発に関する研究も、近年盛んに行われている。例えば、繊維補強コンクリートや高強度コンクリートを用いる方法、緩衝材と組み合わせて複合構造とする方法、あるいは鋼ライナーで補強する方法などがある。これらの方法は、衝突体の貫入や裏面コンクリートの剥離を防止するためにコンクリートのせん断抵抗力や引張強度を向上させるものと、異種の材料を組み合わせることにより衝撃緩衝効果や抵抗力を増加させることをねらったものである。

著者らは先に、鋼ライナーで補強する方法に着目し、薄い鋼板で補強された鉄筋コンクリート板(以下、RC板)の耐衝撃性を調べるため、高速衝突実験を行った¹⁾。その結果、鋼板をスタッドでRC板裏面に補強することにより、部材に生じる貫通や裏面剥離などの局部損傷を緩和する効果があることを確認した。また鋼板による補強の効果は等価なコンクリート厚として定量的に評価できることを示した。本報告では過去行ってきた一連の衝撃実験の中で特に、①RC板裏面に鋼板をエポキシ接着剤で固定した場合とスタッドで固定した場合の比較検討(以下、実験Aと呼ぶ)および、②鋼板の補強位置が異なる場合の部材の破壊性状(以下、実験Bと呼ぶ)について述べる。

2. 実験の概要

2.1 高速衝突実験装置²⁾

衝突実験に用いた装置の概要を、図-1に示す。本実験では、本装置の使用により重量約430gfの飛翔体の衝突速度は、168~185m/secの範囲にあり平均約170m/secであった。

2.2 試験体

(1) RC試験体

衝突実験に用いた試験体の概要を、図-2に示す。実験Aの試

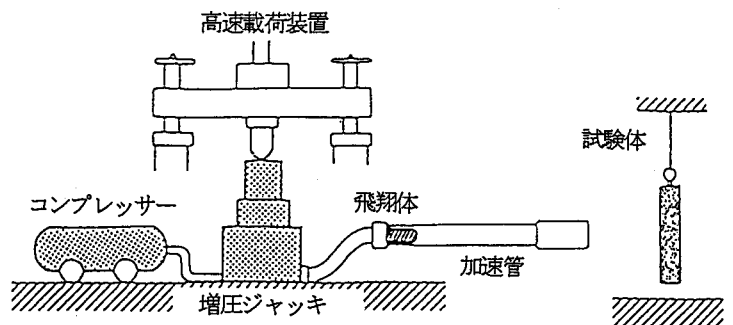


図-1 高速衝突実験装置の概要

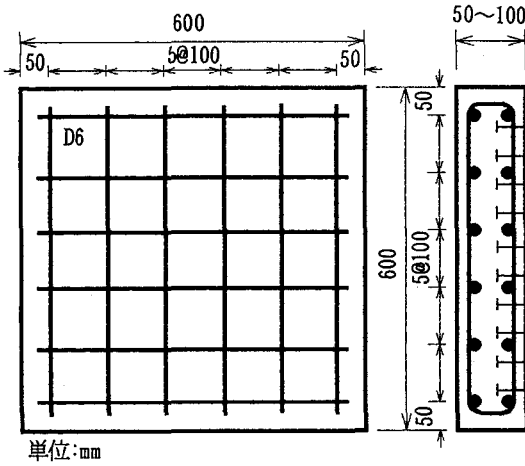


図-2 試験体の概要

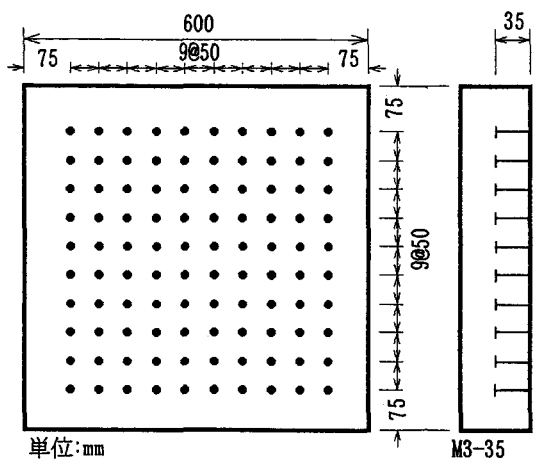


図-3 スタッドの配置

験体寸法は、厚さ:5~10cmの5種類、縦×横:60×60cmである。鉄筋の配筋はすべて同一で、D6鉄筋を用いて鉄筋間隔を10cmとした。試験時のコンクリートの静的圧縮強度は平均243kgf/cm²であった。実験Bでは、RC板厚:7cmの試験体を用いた。実験Bで用いた試験体の試験時の静的圧縮強度は平均295kgf/cm²であった。

(2)補強鋼板

厚さ0.8,1.2および1.6mmの3種類(材質:SS41)の薄い鋼板を60×60cmの大きさに加工した。実験Aでは、すべてRC試験体の裏面に取り付けた。実験Bでは、厚さ0.8mmの鋼板を衝突面、裏面および両面と3つの異なる位置にスタッド(M3, φ35mm)で補強して試験体の破壊性状を比較した。スタッドの配置状態を図-3に示す。

(3)飛翔体

飛翔体は、図-4に示すように頭部、胴体部および尾部の3部分で構成されている。胴体部には、肉厚4.2mm、外径39.5mm、長さ50mmの鋼管(STK41)を用いており、同種の飛翔体を用いた過去の実験から、胴体部には変形が無く、剛飛翔体(ハードミサイル)に相当する。

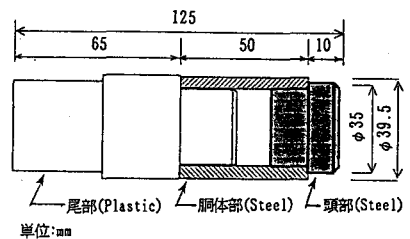


図-4 飛翔体の概要

(4)衝撃応答の計測

衝撃応答の計測は、試験体に生じる加速度、変位およびひずみについて行った。衝撃応答の計測には高い応答特性を有する計測器を用いることが要求され、本実験では表-1に示す性能・諸元を有する計測器を用いた。本報告では、比較的良好な計測結果が得られたひずみ応答について考察する。計測器の配置状況を図-5に、計測システムを図-6に示す。

表-1 計測器の性能・諸元

種類	型名	計測範囲	仕様	備考	
加速度計	305A	100,000C	固有振動数 60KHz	圧電素子型 /PCB社製	
	305A02	50,000C			60KHz
	305A03	10,000C			60KHz
	302A02	500C			45KHz
変位計	KD-2300-12CU	50.8mm	周波数応答 50KHz	非接触式/Kaman社製	
	MODEL-7000C	50~300mm	周波数応答 500KHz	光学式/ヤーマン社製	

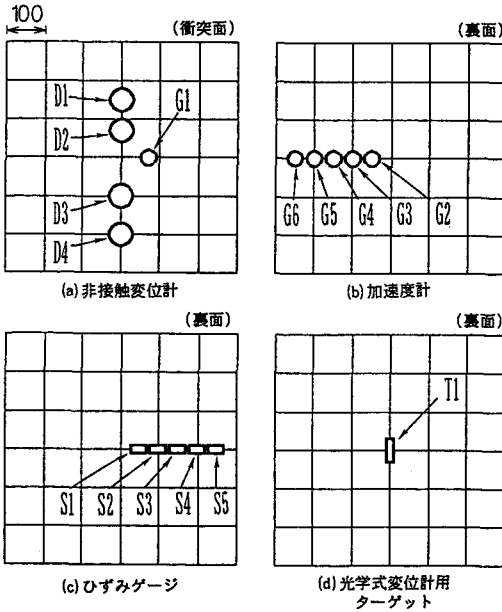


図-5 計測器の配置

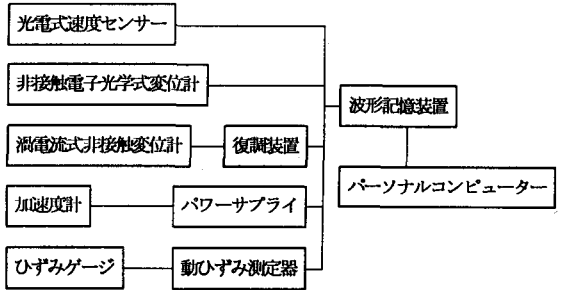


図-6 計測システム

3. 実験結果

3.1 鋼板の固定方法の相違による影響 (実験A)

図-7に、実験Aで得られた試験体（コンクリート板厚：7cm）の破壊性状の比較を示す。鋼板で補強されていない7cmの試験体は、飛翔体の径に等しい貫通孔が生じるとともに、両面には曲げひびわれと裏面剥離も生じている。鋼板を取り付けた試験体には、鋼板の厚さによらず貫通は生じていないが、衝突点近傍の鋼板は膨らんでスタッドの取り付け位置が明瞭に認められる。鋼板の厚さが増すにしたがって膨らみの範囲および高さは減少している。鋼板をエポキシ接着剤で固定した試験体の場合も、貫通を抑制している。鋼板の膨らみの範囲や高さは、鋼板をスタッドで固定した試験体より小さくなっている。膨らみの高さはスタッドで固定した場合の約60～80%であった。しかし、衝突面に生じたひびわれの程度はエポキシ接着剤で固定した場合の方が大きくなっている。これは、鋼板をエポキシ接着剤で固定した場合、鋼板がコンクリート全面にわたって均等に固定されることになり、スタッドで固定するよりも板剛性が向上する。その結果鋼板の無い衝突面で飛翔体の衝突エネルギーを吸収するためであると考えられる。

3.2 鋼板の補強位置の相違による影響 (実験B)³⁾

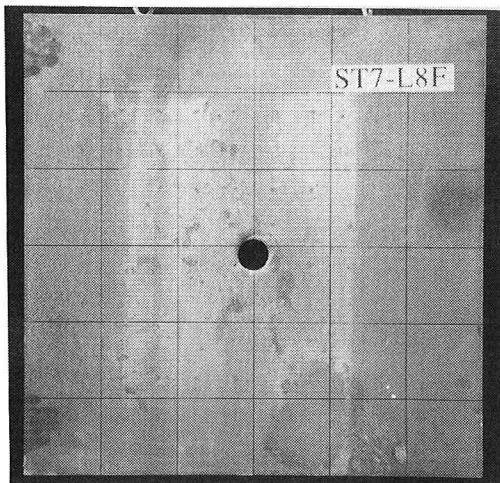
(1) 破壊性状

写真-1に、衝突面に鋼板を補強した試験体の破壊状況を示す。両面補強および裏面補強試験体が、飛翔体の貫通を防止したのに対し（写真-2および写真-3）、衝突面のみに補強した試験体は貫通破壊（写真-1）し、裏面には曲げひびわれと裏面剥離が生じている。衝突面の鋼板は飛翔体の径に等しい貫通孔が生じるが、衝突点周辺の鋼板に膨らみ変形などの影響は認められない。実験Aで確認したように、補強鋼板付きRC板は、鋼板の有する膜効果による伸び変形によって衝撃エネルギーを有効に吸収し、部材の破壊を抑制する。しかし、衝突面に補強した鋼板には、衝突エネルギーを吸収する伸び変形が認められない。また、両面補強した場合と裏面のみに補強した場合で衝突後に生じた裏面鋼板の範囲や高さに顕著な差が認められないことから、衝突面側に補強した薄い鋼板による部材の耐衝撃性の向上はほとんど期待できないといえる。

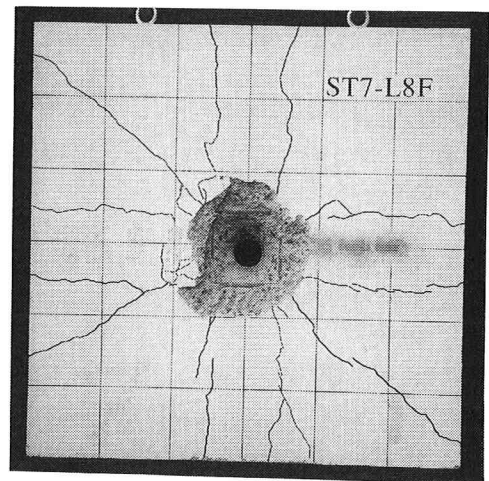
		鋼板厚			
		0mm	0.8mm	1.2mm	1.6mm
コンクリート板厚=7cm (スタッド)	衝突面				
	裏面				
コンクリート板厚=7cm (球°ギ)	衝突面				
	裏面				

○:押し抜けたスタッド ●:わずかに影響を受けたスタッド

図-7 破壊状況の比較

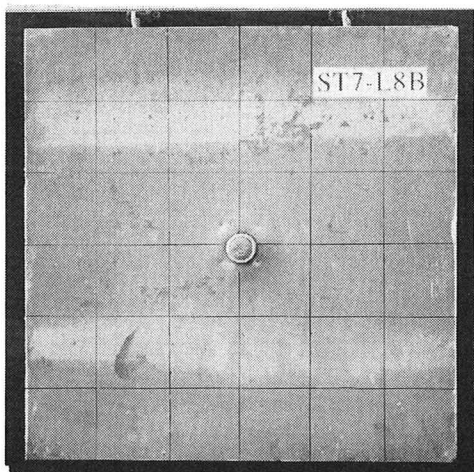


(a) 衝突面の破壊状況

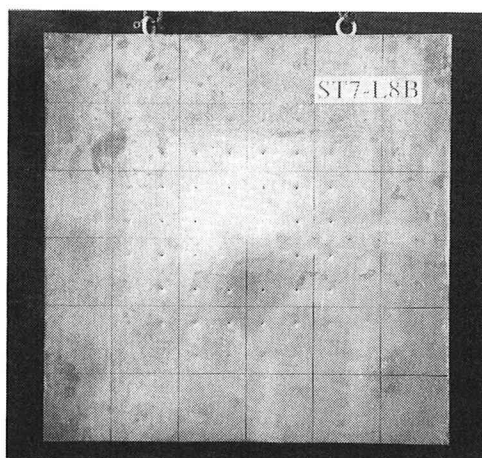


(b) 裏面の破壊状況

写真-1 衝突面補強試験体の破壊状況

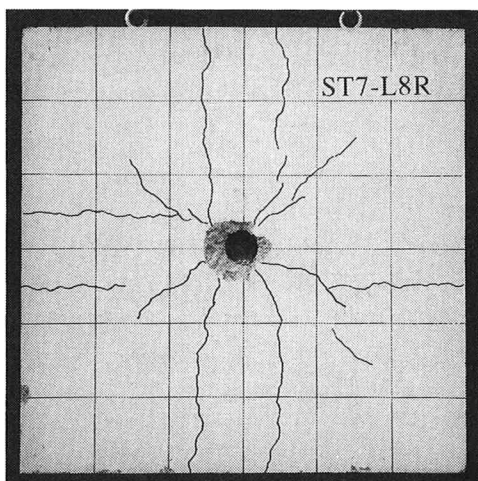


(a) 衝突面の破壊状況

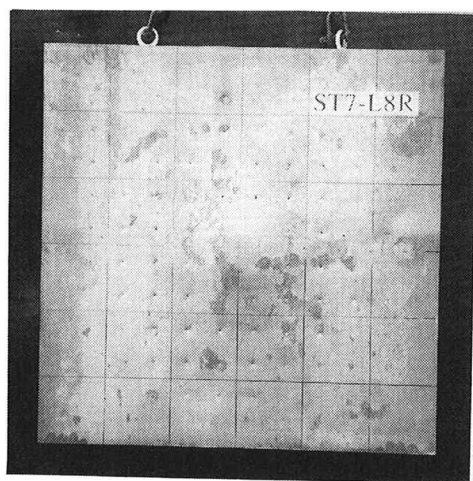


(b) 裏面の破壊状況

写真-2 両面補強試験体の破壊状況



(a) 衝突面の破壊状況



(b) 裏面の破壊状況

写真-3 裏面補強試験体の破壊状況

(2) ひずみ応答波形

図-8に衝突面に鋼板を補強した試験体裏面の各測定点におけるコンクリートのひずみ応答を、図-9に裏面補強試験体の各測定点の鋼板のひずみ応答を示す。コンクリートのひずみ応答は、衝突直後すべての点で圧縮側の応答を示している。中心から10cmの範囲のひずみ応答 (S1, S2) は、圧縮から引張側に推移している。これは、衝突にともなう応力波が試験体裏面で反射し、引張波となるためで、この範囲のコンクリートは剝離している (写真-1)。また、S1とS2の引張側に推移する時刻の差 (およそ760 μ sec) は、応力波の到達時刻の差であり、裏面剝離する時刻の遅れを表している。一方、鋼板のひずみ応答 (図-9) は、鋼板が膨らみ変形した範囲 (中心から15cm) で鋼板の降伏ひずみ (およそ3000 μ ϵ) に達し、残留ひずみとなっている。また、図-8と比較すると裏面コンクリートは衝突直後圧縮側の応答を示すのに対し、鋼板ひずみはすべて引

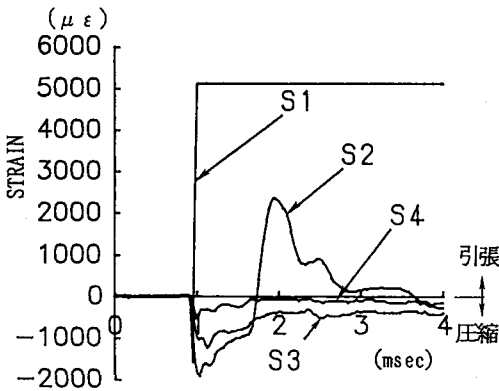


図-8 裏面コンクリートのひずみ応答

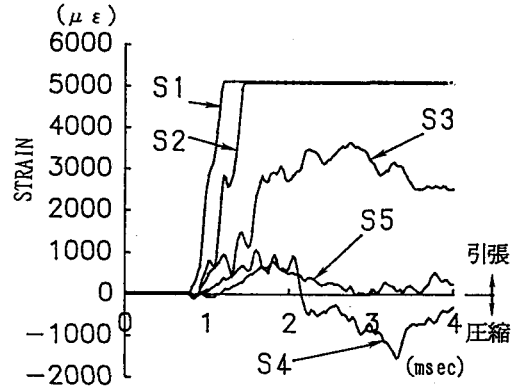


図-9 裏面補強鋼板のひずみ応答

張側の応答を示している。コンクリートと鋼板の接合部には、衝突ともなうせん断力や引張力などの複雑な組み合わせ荷重が作用したことが予想されるが、ひずみ応答より、鋼板を補強した場合、接合部がずれ変形していることが考えられる。このようなずれ変形が大きくなると鋼板の補強効果が期待できなくなることが予想される。実験Aで見られたように、エポキシ接着剤などを併用して鋼板をコンクリート面全体に均一に、より堅固に補強することが耐衝撃性を向上させるのに有効であると考えられる。

4. おわりに

本報告は、補強鋼板付き鉄筋コンクリート板の耐衝撃性を検討するために行った高速衝突実験で、特に鋼板の補強方法の相違による影響についてまとめたものである。今後、基礎的資料の蓄積をめざしてより広範囲のパラメータを考慮した衝撃実験を行う予定である。

本実験の実施にあたり、防衛大学校理工学研究科学生 北川 真君および岡本貢一君の援助を得たことを付記し謝意を表す。

参考文献

- 1) 小暮他: 鋼板で補強されたRC板の耐衝撃性と補強鋼板の等価コンクリート厚の推定、構造工学論文集、Vol.39A、1993.掲載予定
- 2) 内田他: 高速載荷および高速衝突実験装置の開発、落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集、pp.105-110、1991.
- 3) Barr P.:UKAEA;Guidelines for the Design and Assessment of Concrete Structures Subjected to Impact-1990 Edition, May,1990.