アラミド繊維シート補強による近接爆発を受けるコンクリート板の耐爆性能向上について

防衛大学校　学生会員　大久保　一徳　正会員　別府万寿博
正会員　大野　友則　前田工繊　佐藤　和幸

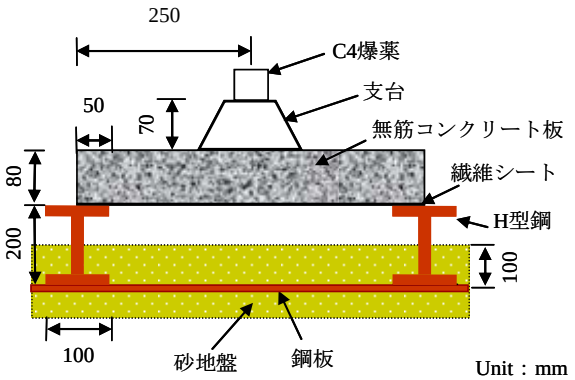
1．はじめに

爆発荷重に対するコンクリート構造物の防護設計を確立するためには，コンクリート部材の耐爆性について検討する必要がある．近年，森下ら[1]は，コンクリート強度，鉄筋の種類および配筋方法を変化させた爆発実験を行い，これらが局部損傷の低減にあまり効果がないことを報告している．したがって，コンクリート板の耐爆性能を向上させるためには，別の手段を考える必要がある．

近年，耐震補強およびコンクリート片の剥落防止の材料として，アラミド繊維シートが注目されている．本研究は，アラミド繊維シートで裏面を補強したコンクリート板に対する近接爆発実験を行い，アラミド繊維シート補強によるコンクリート板の耐爆性能向上効果（飛散防止および損傷低減効果）について検討を行ったものである．

2．爆発実験の概要

コンクリート板供試体および爆薬の設置状況を**図－1**に示す．供試体は，支持幅 50mm の二辺単純支持となるように設置した．爆薬として Composition C-4（C4）爆薬を円柱形（高さ/径＝1）に成形し，その上面から 6 号電気雷管を装着して起爆した．無筋コンクリート板供試体は縦 500mm×横 500mm×厚さ 80mm で，コンクリートの圧縮強度は 22.3N/mm^2 である．繊維シートの種類は，1 方向および 2 方向アラミド繊維シートを用いた．その力学特性を，**表－1** に示す．繊維シートとコンクリート板の接着面は，繊維シートを接着する前に目荒しした後，プライマーを塗布した．繊維シートの接着は，繊維シートに含浸樹脂を下塗りした後に行った．実験ケースは，**表－2** に示すように，繊維シートの種類および枚数をパラメータとし，それぞれ 2 回ずつ行った．爆薬量およびスタンドオフ（離隔距離）は，近接爆発に対するコンクリート損傷の評価式である McVay 式[2]を基に，貫通限界の破壊モードが得られる質量 125g，スタンドオフ 7cm に設定した．



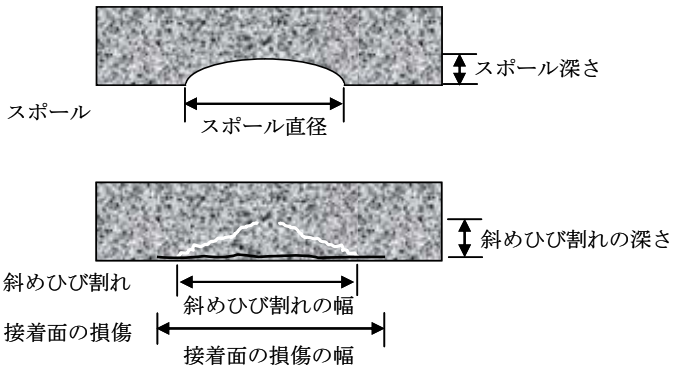
図－1　実験の概要

表－1　アラミド繊維シートの力学的特性

繊維シートの種類	目付け量 (g/m^2)	引張強度 (GPa)	弾性係数 (GPa)	設計厚さ (mm)
1方向繊維シート	280	2.06以上	118	0.193
2方向繊維シート	650	2.06以上	118	0.193/0.193

表－2　実験ケース

実験番号	繊維の種類	枚数	設計厚さ (mm)	目付け量 (g/m^2)	引張剛性 (kN/mm)
1	補強なし	0	0	0	0
2					
3	1方向繊維シート	1	0.193	280	22.8
4					
5	1方向繊維シート	2	0.386	560	45.5
6					
7	2方向繊維シート	1	0.193/0.193	650	22.8/22.8
8					
9	2方向繊維シート	2	0.386/0.386	1300	45.5/45.5
10					



図－2　局部損傷の種類および計測項目

3．実験結果および考察

3.1　損傷の分類

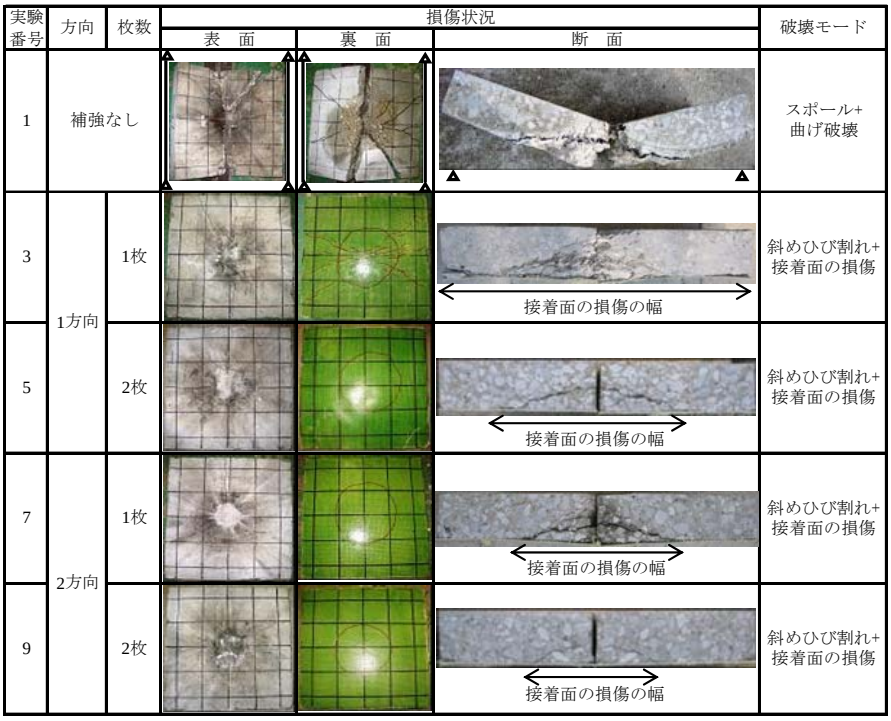
実験後の目視観察および断面の損傷状況より，コンクリート板の局部損傷は，**図－2** に示すようにスポール（裏面剥離），コンクリート内部における斜め方向のひび割れ（以下，斜めひび割れという．）およびコンクリートと繊維シートの接着面におけるコンクリートの剥離損傷（以下，接着面の損傷という．）に分類された．

3.2　繊維シート補強による耐爆性能の向上効果

各実験ケースの代表的な損傷状況を，**図－3** に示す．ここで，繊維シート補強したコンクリート板裏面における円状の実線は，繊維シートの上からパルハンマーを転がし，音の変化により確認した損傷領域を示している．また，切断面は，支持方向に対して直交方向の断面を示している．繊維シートで補強しないケース（実験番号 1）では，

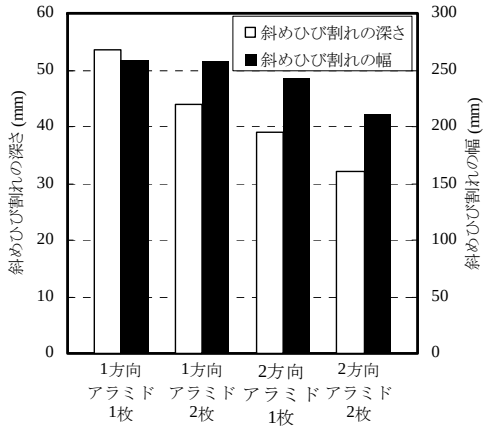
キーワード：無筋コンクリート板，アラミド繊維シート，C4 爆薬，局部損傷
連絡先：〒239-8686　横須賀市走水 1-10-20　防衛大学校建設環境工学科　Tel:046-841-3810

直径 239mm, 深さ 59mm のスポールおよび板中央部に曲げ破壊が生じた．1 方向アラミド繊維シートを 1 枚用いて補強したケース（実験番号 3）では，スポールおよび曲げ破壊は生じず，コンクリート内部における斜めひび割れおよび裏面全体に及ぶ接着面の損傷が生じた．繊維シート補強の枚数を 2 枚に増加させたケース（実験番号 5）では，斜めひび割れがやや低減するとともに接着面の損傷幅が短くなった．2 方向アラミド繊維シートを 1 枚用いて補強したケース（実験番号 7）は，1 方向アラミド 1 枚繊維シートのケースに比べて斜めひび割れおよび接着面の損傷が低減した．さらに，繊維シート補強の枚数を 2 枚に増加させたケース（実験番号 9）では，コンクリートの損傷がかなり小さく，微小な斜めひび割れであった．また，接着面の損傷の幅は 270mm であり，全てのケースの中で最も小さかった．以上より，繊維シートで裏面を補強した全てのケースにおいて，曲げ破壊およびスポールの発生を抑え，かつ，裏面におけるコンクリート片の飛散を防止することができた．

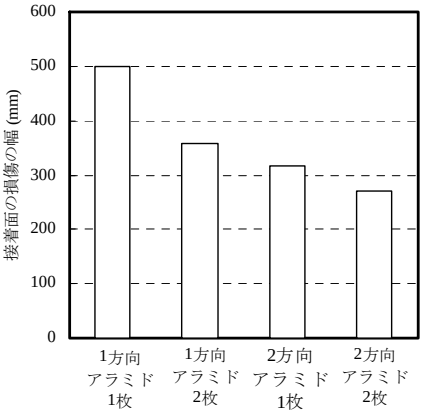


図－3 損傷状況

斜めひび割れの深さおよび幅を**図－4** に，接着面の損傷の幅を**図－5** に示す．これより，繊維の方向および繊維シートの枚数を増加させるにつれて，斜めひび割れの深さ，幅および接着面の損傷の幅はいずれも低減していることがわかる．特に，繊維の方向と繊維シートの枚数が局部損傷に及ぼす影響を比較すると，繊維シートの枚数よりも繊維の方向を増加させる方が損傷低減効果は大きいことがわかる．これは，2 方向アラミド繊維シートは，1 方向アラミド繊維シートに比べて 2 次元的に補強できること，および目付け量が約 2.3 倍大きいため，爆風圧による曲げ破壊を抑えつつ，応力波による局部損傷を低減させたことが考えられる．



図－4 斜めひび割れの深さと幅



図－5 接着面の損傷の幅

4．結言

本研究で得られた成果を以下に示す．

(1) アラミド繊維シートでコンクリート板の裏面を補強すると，曲げ破壊およびスポールの発生を抑え，かつ，裏面におけるコンクリート片の飛散を防止することができた．

(2) 繊維の方向および繊維シートの枚数を増加させるにつれて，コンクリート板の局部損傷の程度が低減することがわかった．特に，繊維の方向と繊維シートの枚数が局部損傷に及ぼす影響を比較すると，繊維の方向を増加させた方が効果的であることがわかった．

参考文献

1)森下政浩，田中秀明，安藤智啓，萩谷浩之：接触爆発を受ける鉄筋コンクリート板の損傷に及ぼすコンクリート強度及び鉄筋間隔の影響，コンクリート工学論文集，Vol.15，No.2，pp.89-98，2004.5

2)M. K. McVay：Spall Damage of Concrete Structures, Technical Report SL88-22, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experimental Station, June 1988