

シート状補強材によるコンクリート板の耐爆性能向上メカニズムに関する研究

防衛大学校 正会員 ○別府万寿博 大久保一徳 大野友則

1. 緒言

鉄筋コンクリート部材が大きな爆発荷重を受けると、局所的な損傷や破壊が発生する。著者らは、繊維シートや樹脂系シートでコンクリート板の裏面を補強することにより、コンクリート板の耐爆性能が向上することを実験的に明らかにした^{1), 2)}。本研究は、シート状補強材によるコンクリート板の耐爆性能向上メカニズムについて、考察を行ったものである。

2. 実験の概要および実験結果

実験は、図-1に示すように質量125gのC4爆薬を7cmのスタンドオフで爆発させる近接爆発実験である。コンクリート板供試体は縦横500mm、厚さ80mmで、コンクリートの圧縮強度は 22.3N/mm^2 である。実験で用いた繊維シートの種類は、カーボン、アラミド繊維、ステンレスおよびビニロン強化エポキシアクリレート樹脂、特殊アクリル樹脂、ポリウレア樹脂である。計測項目は、図-2に示すように、①スポールの直径、深さ、②板内部に発生する斜め方向のひび割れ（斜めひび割れ）の幅と深さ、③板とシート間の接着面の損傷幅、である。

図-3、図-4に、スポールの深さ、斜めひび割れの高さと引張剛性の関係を示す。ここで、引張剛性とは、シート状補強材のヤング率 E と材厚 t の積で定義される。これより、スポールの深さ、斜めひび割れの高さはいずれも、引張剛性が大きくなるにしたがって、ほぼ線形に低減していくことがわかる。すなわち、局部損傷の低減には引張剛性が大きな影響を与えていることがわかる。

3. 耐爆性能向上メカニズム

3.1 応力波の反射の影響

コンクリート板が爆発荷重を受けると、図-5(a)に示すように表面から圧縮応力波が入射され、裏面で自由端反射することでスポール破壊が生じると考えられている。そこで、応力波理論により、補強材の有無が裏面の反射に与える影響について考察する。裏面が自由端の場合および繊維による応力 σ_f が存在する場合（以後、半固定端という）の力学的境界条件は、次式で表される。

$$\text{(自由端)} \quad \sigma_{xx} \neq 0, \quad \sigma_{xy} = 0, \quad \sigma_{yy} = 0 \quad (1)$$

$$\text{(半固定端)} \quad \sigma_{xx} \neq 0, \quad \sigma_{xy} = \sigma_f, \quad \sigma_{yy} = 0 \quad (2)$$

図-5(b)および次式に示す三角パルスの圧縮応力波を入射させて、裏面における応力波の反射率³⁾を求める。

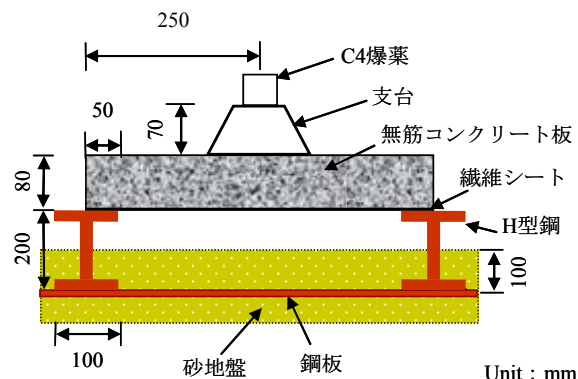


図-1 実験の概要

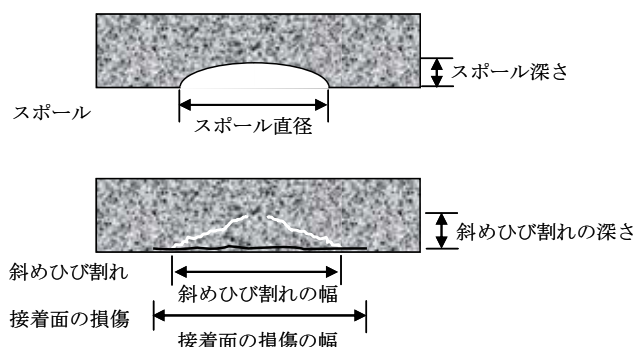


図-2 局部損傷の種類および計測項目

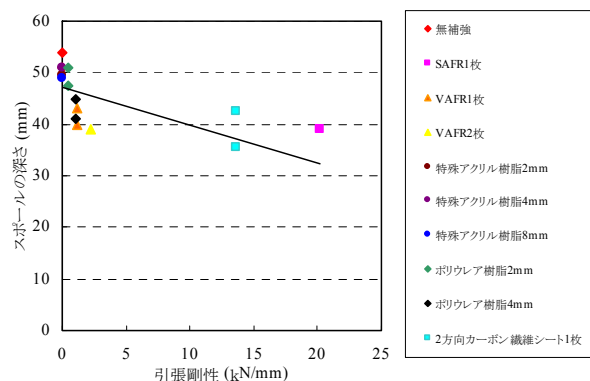


図-3 スポールの深さと引張剛性の関係

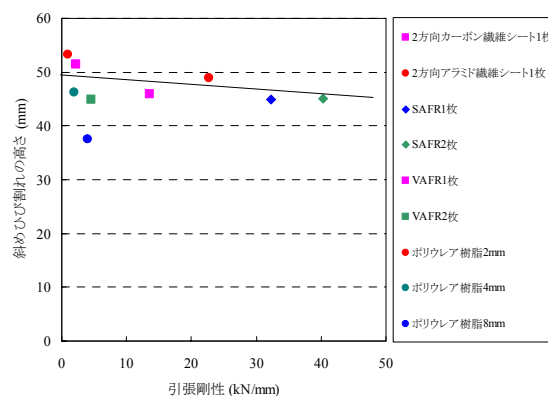


図-4 斜めひび割れの深さと引張剛性の関係

キーワード 爆発荷重, 耐爆補強, シート状補強材, コンクリート板

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: 046-841-3811

$$U_0(x, y, t) = A_0 \left(1 - \frac{x \cos \alpha_0 + y \sin \alpha_0 + c_l t}{\lambda} \right) \quad (3)$$

ここに、 A_0 は変位振幅、 λ は波長、 c_l は膨張波の伝播速度、 α_0 は入射角である。

図-6 は、シート状補強材によって生じる裏面の応力が 0, 20, 40N/mm² の場合における、応力の反射率を示している。入射角が 0°, すなわち裏面に圧縮波が垂直に入射する場合をみると、自由端 ($\sigma_{fr}=0$) では反射率は-1 となり引張応力が生じることを示している。一方、裏面の応力が大きくなるにしたがって、反射率はプラスに転じて圧縮波として反射されることがわかる。つまり、裏面を繊維シートで補強することにより引張波が低減され、コンクリートのスポール破壊が小さくなることを示している。

3.2 セン断耐力の影響

シート状補強材で裏面を補強すると、コンクリート板の押し抜きせん断耐力は向上する。次に示すコンクリート標準示方書による押し抜きせん断耐力式を用いて、裏面補強によるせん断耐力を算定する。

$$V_{pc} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_\gamma \cdot f_{pcd} \cdot u_p d' / \gamma_b \quad (4)$$

ここに、 β は係数、 $f_{pcd} = 0.20 \sqrt{f_c}$ (N/mm²)、 $u_p = u_0 + 2\pi \cdot d' / 2$ 、 f_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)、 u_0 : 載荷面の周長(mm)、 u_p : 仮想断面の周長(mm)、 d' : 有効板厚(mm)である。

本研究では、シート状補強材の引張剛性を、鉄筋比を考慮する係数 β_p の中で次式のように考慮した。

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 \left(p_s + \frac{E_f}{E_s} b t \right)} \quad (5)$$

ここに、 p_s は鉄筋比、 E_f はシート状補強材のヤング率、 E_s は鉄筋のヤング率、 b はコンクリートの幅、 t は補強材厚である。

図-7 は、斜めひび割れの高さと押し抜きせん断耐力との関係を示している。これより、斜めひび割れの高さは、押し抜きせん断耐力が大きくなるにしたがって小さくなっている。すなわち、シート状補強材によって押し抜きせん断耐力が増加することで、斜めひび割れ損傷が低減されたものと考えられる。

参考文献

- 1) 大久保一徳, 別府万寿博, 大野友則, 佐藤和幸: 繊維シート補強によるコンクリート板の耐爆性能向上に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, 2007.7.
- 2) 大久保一徳, 大野友則, 別府万寿博, 福井秀平, 横島順一: 高分子材料で裏面補強したコンクリート板の耐爆効果に関する実験的研究, 防衛施設学会平成 19 年度研究発表会概要集, pp.56-61, 2007.12.
- 3) 林卓夫, 田中吉之助編著: 衝撃工学, 日刊工業新聞社, 1988.8.

