

近接爆破による衝撃荷重を受ける AFRP シート接着コンクリート版の弾塑性衝撃応答解析

三井住友建設(株) フェロー ○三上 浩 室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光
 防衛大学校 正会員 大野 友則 ファイベックス(株) 正会員 井之上 賢一

1. はじめに

本研究では、近接爆破により衝撃荷重を受けるコンクリート構造物の衝撃応答解析手法の確立を目的として、コンクリート版の近接爆破実験に関する弾塑性衝撃応答解析を行った。本研究では、無筋コンクリート版およびアラミド繊維製連続繊維シート(以後、AFRPシート)を接着した無筋コンクリート版に着目し、数値解析結果と実験結果の損傷状況を比較することにより本解析手法の妥当性を検討した。なお、本数値解析では、衝撃応答解析用汎用プログラム AUTODYN を用いている。

2. 実験概要

図-1には、近接爆破実験の実験概要を示している。本実験に用いたコンクリート版の形状寸法は500×500mm、版厚 t は80mmまたは100mmである。補強試験体には二方向AFRPシートを1層もしくは2層を裏面全

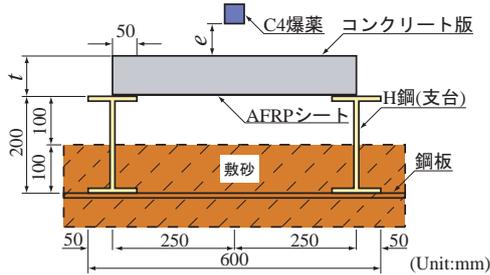


図-1 実験概要

表-1 二方向 AFRP シートの力学的特性値

繊維目付量 (g/m ²)	厚さ (mm)	弾性係数 E_f (GPa)	引張強度 f_f (GPa)	破断ひずみ ϵ_l (%)
890	0.286	118	2.06	1.8

表-2 解析ケース一覧

ケース名	実験の種類	爆薬量 w (g)	シート 層数	版厚 t (mm)
T46-N	接触爆発 ($e = 0$ mm)	46	-	80
T46-S1		46	1	
T46-S2		46	2	
U46-N	近接爆発 ($e = 70$ mm)	46	-	80
U46-S1		46	1	
T100-N	接触爆発 ($e = 0$ mm)	100	-	100
T125-S1		125	1	
T100-S2		100	2	
U175-N	近接爆発 ($e = 70$ mm)	175	-	100
U175-S2		175	2	

体に接着している。なお、実験時におけるコンクリートの圧縮強度は $f'_c = 30.9$ MPa、弾性係数は $E_c = 20.6$ GPa である。表-1には、二方向 AFRP シートの力学的特性値を示している。

本実験は、基盤となる鋼板上にウェブ間隔が 500 mm となるように H 形鋼(高さ: 200 mm, フランジ幅: 100 mm)を平行に設置し、その上にコンクリート版を両支持幅が 50 mm となるように設置し、二辺単純支持条件にて行っている。爆薬にはプラスチック爆薬の一種である C4 爆薬を用い、爆破位置をコンクリート版中央鉛直上に限定して行った。なお、緩衝材として敷砂を支持具としての H 形鋼の高さ 100 mm まで敷き詰めている。表-2には、解析ケースの一覧を示している。実験ケース数は、爆薬底面からコンクリート版上面までの爆破距離 e を 2 種類 ($e = 0, 70$ mm)、爆薬量 w を 4 種類 (46, 100, 125, 175 g) とし、シート補強の有無などを組み合わせた全 10 ケースについて実施した。表中、ケース名の第一項目には爆発位置 (T: 接触爆発, U: 近接爆発) に爆薬量 (g) を付して示している。なお、第二項目にはコンクリート版の状況 (N: 無補強, S: シート補強) を示しており、

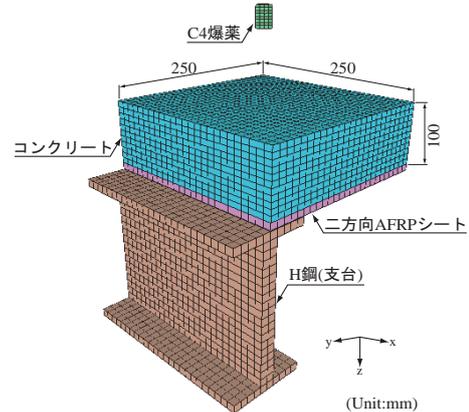


図-2 要素分割状況

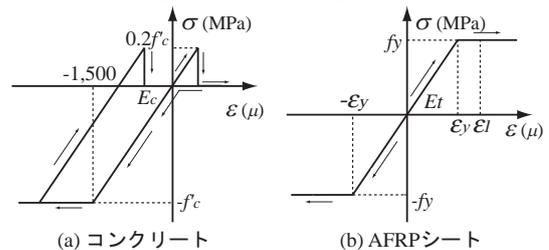


図-3 各材料の応力-ひずみ関係

キーワード: 接触爆破, 近接爆破, コンクリート版, 二方向 AFRP シート, 弾塑性衝撃応答解析

連絡先: 〒 270-0132 千葉県流山市駒木 518-1 三井住友建設(株) 技術研究所 TEL 04-7140-5201 FAX 04-7140-5216

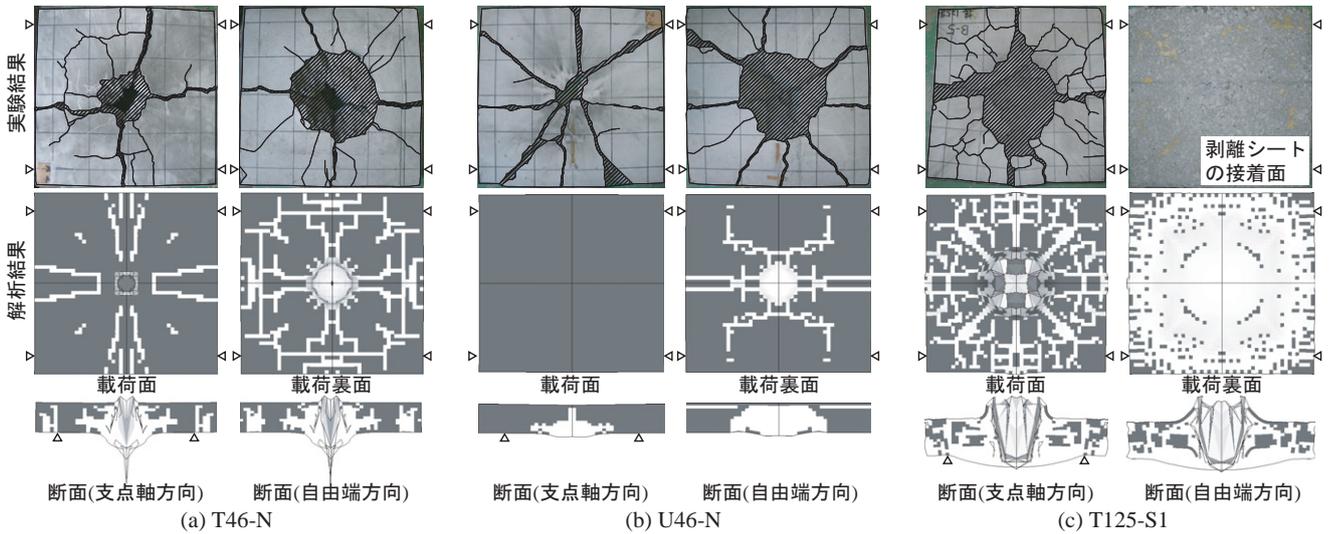


図-4 実験結果および解析結果の第一主応力分布図との比較

付随する数字はシート層数を示している。

3. 数値解析概要

図-2には、本数値解析で用いた有限要素モデルの要素分割状況を示している。使用要素は、爆薬には気体要素を用い、他の構成要素は8節点固体要素でモデル化した。また、解析対象はコンクリート版の対称性を考慮し、1/4モデルとした。なお、爆薬要素を除いた節点数は最大で11,934である。

図-3には、各材料の応力-ひずみ関係を示している。図-3(a)より、コンクリートの応力-ひずみ関係は、圧縮側に関しては圧縮強度の $\sqrt{2}$ 倍を降伏強度とし、引張側に関しては降伏強度の0.2倍に達した時点で引張応力を伝達しないものと定義している。なお、高速载荷問題の場合にはコンクリートのひずみ速度効果の影響を大きく受ける。このため、本研究では降伏強度は予備解析結果に基づき0.2を採用した。また、各要素に1個の曲げひび割れを想定し、要素長を変化させた場合にも等価な歪エネルギーによりひび割れの発生を評価可能とするために、要素長に対応させてコンクリートの圧縮強度を仮想的に変化させている。

図-3(b)には、AFRPシートの応力-ひずみ関係を示している。AFRPシートは引張ひずみが破断ひずみ($\epsilon_l = 1.8\%$)に達した時点で破壊となる構成則を適用している。降伏の判定には、コンクリート、AFRPシートともにvon Misesの降伏条件式を採用している。なお、C4爆薬の圧力/強度の時間分布や、内在するエネルギーの時間割合分布等は、AUTODYNの材料ライブラリー¹⁾に準じて入力している。

4. 数値解析結果と実験結果の比較

図-4には、T46/U46-N、T125-S1に関する実験結果

および解析結果を示している。図には載荷面および載荷裏面の損傷状況(実験および解析結果)、断面の損傷状況(解析結果)を示している。なお、解析結果はいずれもコンクリート版の第一主応力分布の応力零を白色として示している。

図-4(a)より、T46-Nの実験結果には、爆薬設置位置で爆発の高圧力による円形の損傷が見られる。また、載荷裏面には裏面剥離が発生し、亀裂の発生により四分割されている。一方、数値解析結果は、四方向のひび割れおよびコンクリート版中心部の損傷が実験結果とほぼ対応していることが分かる。

図-4(b)より、U46-Nの実験結果は、T46-Nと類似した破壊状況であるものの、T46-Nに比較して載荷面の損傷が軽微であることが分かる。一方、数値解析結果は、載荷面には損傷が見られず、断面の主応力図より裏面剥離により大きく損傷していることが分かる。このことより、解析結果は実験結果とほぼ対応していることが分かる。

図-4(c)より、T125-S1の実験結果は、載荷面には爆薬設置位置に大きな損傷が見られ、網の目状の亀裂が発生し、四分割されている。載荷裏面に関しては、シートのコンクリートを伴う全面剥離により終局に至っている。数値解析結果は、載荷面には円形の損傷が確認でき、裏面全体には破壊域が全面に広がっていることから、実験結果をよく再現していると考えられる。

5. まとめ

本数値解析結果より、コンクリートの破壊を適切に設定することで、近接爆発を受けるコンクリート版の損傷を大略再現可能であることが明らかになった。

参考文献

- 1) AUTODYN User Manual : Century Dynamics, Inc.