

鉄筋コンクリート版の衝撃破壊挙動と耐衝撃設計の考え方

神戸大学工学部 正会員 宮本 文穂 神戸大学大学院 学生員 M. W. KING
 神戸大学大学院 学生員 ○榎井 弘樹

1. まえがき 衝撃現象は、衝撃作用下の構造物の力学的挙動の複雑さや外力の特性の把握の困難さより、いまだに十分明らかにされていない。本研究では各種鉄筋コンクリート版の衝撃破壊挙動を、実験結果及び積層化非線形有限要素解析法による解析結果の比較により明らかにし、耐衝撃性指標を仮定することによって耐衝撃設計について考察する。

2. 解析法の概略 解析は積層化非線形有限要素法¹⁾を用いて行なった。この解析法の特徴はコンクリート版を多数のコンクリート層と鉄筋層の集合からなるものと考え(Fig.1)、各層毎に異なる材料特性を設定しても解析可能というものである。そこで今回はFig.1に示すような表面から1,3,4,5層は普通コンクリート(RC), 6,8層は鋼繊維補強コンクリート(SFRC)という構造の版

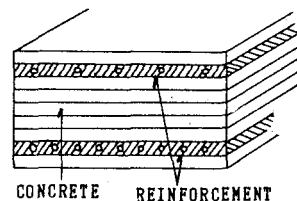


Fig.1 LAYERED STRUCTURE OF SLAB

(2,7層は鉄筋層)を追加して解析を行った。荷重特性や材料特性は実験より得られたものを、特に材料特性に関しては実験値に折線近似させることによって解析に適用した。なお要素分割の例(1/4部分)をFig.2に示す。破壊実験での重錘の落下高さは解析より得られる破壊エネルギーに基づいて決定した。

3. 実験の概要 衝撃破壊実験には振子式衝撃試験装置を用いた。解析に対応させて作成したコンクリート版を固定用フレームに2辺単純支持となるようにボルトにより固定し、衝撃作用をソフトなものにするため載荷点にゴム板を設置、その厚さを変えることにより載荷速度を変えた。そして振子式になった重錘を所定の高さまで引上げ自由落下させることによって載荷を行なった。測定は載荷点を含む各測点での変位、版の応答加速度、重錘加速度等とし、重錘加速度より衝撃力を求めた。

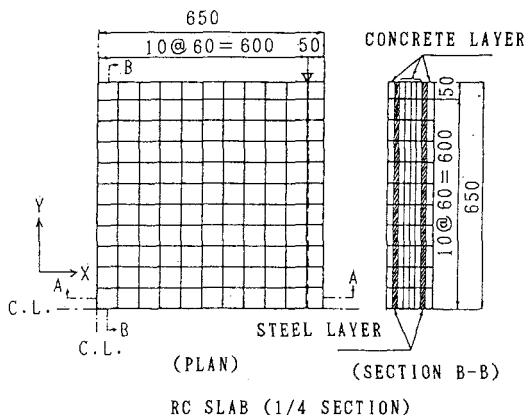


Fig.2 LAYERED FINITE ELEMENT MESHES

4. 結果と考察 本実験及び過去に行われた同種の実験結果²⁾をまとめてTable 1に示す。ここで、D-1, D-2が今回新たに行なった部分的にSFRCとした供試体で、各々ゴム厚1cm, 2cmのものである。RC(鉄筋コンクリート版), SFRC, HRC(高強度コンクリート版)は過去の実験²⁾で行われた同種の版である。Table 1によるとRC, HRCがせん断破壊であるのに対し、SFRCと今回のSFRC+RCは曲げ破壊となっている。

Fig.3は載荷速度(STATIC, D-2, D-1の順に速くなる)が荷重～変位関係に及ぼす影響を実験結果及び解析結果で比較したものである。これによると実験では、載荷速度の速いD-1の方がD-2よりも初期剛性が大きくなっており、解析でも同様の結

Table 1 FAILURE TEST RESULTS

TYPE OF SLABS (RUBBER DEPTH)	MAXIMUM FORCE (tf)	MAXIMUM DEFLECTION (mm)	TYPE OF FAILURE
D-1(1cm)	37.7	3.4	F
D-2(2cm)	42.6	15.3	P.S.
STATIC	29.8	11.4	F
RC(1cm)	22.3	8.7	P.S.
RC-STATIC	25.1	15.9	P.S.
SFRC(1cm)	35.1	11.9	F
SFRC-STATIC	29.3	45.6	F
HRC(1cm)	36.9	10.4	P.S.
HRC-STATIC	29.4	30.3	P.S.

(F: FLEXURAL P.S.: PUNCHING SHEAR)

Ayaho MIYAMOTO, Michael William KING, Hiroki MASUI

果が得られている。また、静的に比べ破壊時変位は、載荷速度の増加とともに小さくなる傾向がみられる。また、Fig.4は実験及び解析から得られた破壊時ひびわれを解析及び実験と比較したものである。ここで解析によるひびわれは、各要素の主応力直角方向を示しており、コンクリート版の1/4部分にあたる。これよりスパン中央部に形成される降伏線の方や載荷点を中心として放射状に広がるひびわれ方向が実験と解析でほぼ対応したのとなっている。これらの結果より、本解析法が各層間で材料特性を変えた積層構造の版においても十分な精度を持つことがわかる。

Fig.5は、各種コンクリート版の荷重～変位関係の解析結果を比較したものである。これより、SFRCがRCに比べ剛性、破壊荷重、破壊時変位ともに大きく、D-1がその中間値をとっている。以上の実験及び解析結果より、耐衝撃性を検討する上での指標として、①破壊荷重及び破壊時変位（破壊エネルギーを一定すると両者は負の相関関係にあるため、同時に考慮する必要がある）、②破壊形式、③裏面剝離・飛散を設定してみる。これらの指標に着目してFig.5, Table 1をみると、RCをSFRCにした場合、破壊荷重は6割、破壊時変位は4割増加し、破壊形式は曲げ破壊となって、吸収エネルギーが増大するのみならず、裏面剝離も抑えることが出来る。また、HRCにすると破壊荷重は7割、破壊時変位は2割増加するが、破壊形式はせん断破壊で、吸収エネルギーの増加は望めない。D-1は、破壊荷重及び破壊変位・破壊形式・剛性共にSFRCに

近くなっており、RCも版の引張側のみに鋼繊維を混入することによってSFRCに近い性質を与えることが可能となる。

5. 結論 ①耐衝撃設計には、破壊荷重、破壊時変位、破壊形式、裏面剝離・飛散を指標にするのが合理的と言える。②SFRCはRCに比べ破壊荷重、破壊時変位、破壊形式、裏面剝離の指標について優れている。また、引張側の一部を鋼繊維コンクリートとすることによってSFRCに近い性質を付与できる。

参考文献：1) 藤井 学、宮本 文穂、他：鉄筋コンクリート版構造の衝撃破壊挙動解析に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集9-2, Pp.609～614, 1987, 2) 藤井 学、宮本 文穂、他：単一衝撃を受けるコンクリート版の破壊挙動に関する研究、第8回コンクリート工学年次論文報告集, Pp.757～760, 1986.

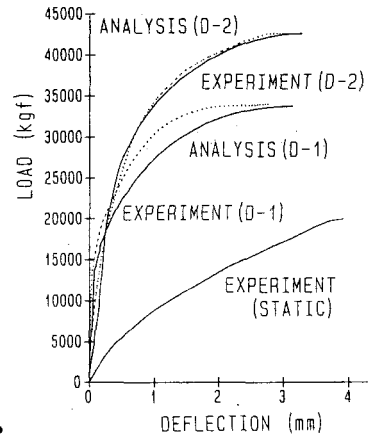


Fig.3 LOAD - DEFLECTION RELATION

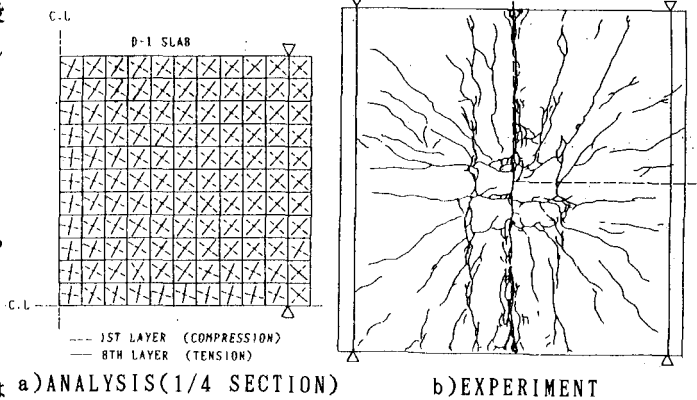


Fig.4 CRACK PATTERN AT FAILURE

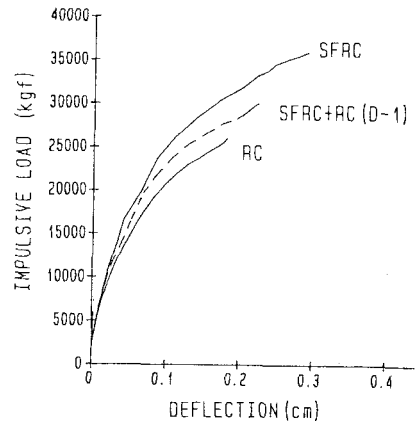


Fig.5 IMPULSIVE LOAD - MIDSPAN DEFLECTION CURVE FOR DIFFERENT MATERIAL