室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

低速度衝撃を受ける四辺単純支持RC版の耐衝撃能力評価に関する数値解析的研究

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:
	公開日: 2023-11-29
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 鄭, 丹丹
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://doi.org/10.15118/0002000155

氏　　名	鄭　丹丹(ﾃｲ ﾀﾞﾝﾀﾞﾝ)
学位論文題目	低速度衝撃を受ける四辺単純支持RC版の耐衝撃能力評価に関する数値解析的研究
論文審査委員	主査　教　授　　小室　雅人
	教　授　　溝口　光男
	准教授　　菅田　紀之
	特任教授　岸　徳光

論文内容の要旨

主要な構造部材の１つである鉄筋コンクリート（RC）版構造において，集中荷重が静的かつ局所的に作用すると押し抜きせん断破壊によって終局に至るとともに，その設計法は確立されている。一方，落石などの低速度衝撃が RC 版に作用する場合には，未だ合理的な耐衝撃設計法は確立されていない。したがって，衝撃荷重を受ける RC 版の耐衝撃設計法を確立し，実構造物への適用を早期に実現するためには，実験とともに数値解析的検討も併用して効率的に研究を推進することが重要である。

このような観点より，本研究では低速度衝撃を受ける RC 版の終局状態を数値解析的に推定可能な手法の確立を目的として，四辺単純支持矩形 RC 版を対象に，三次元弾塑性衝撃応答解析を実施した。得られた解析結果と実験結果を比較することにより解析手法の妥当性を検討するとともに，終局時には衝撃荷重の第２波が消失することや除荷後における支点反力およびたわみにおいて自由減衰振動が励起されないことを実験および数値解析結果から確認し，これらの状態に至る場合を RC 版の終局状態と推定する手法を提案した。さらに，提案の推定手法をコンクリート強度や版厚が異なる RC 版に適用し，実験結果と比較することによってその適用性を検証した。本論文の構成は，以下の通りである。

第１章は序論であり，本研究の背景や既往の研究，および目的について述べている。

第２章では，本研究で対象とした試験体や重錘落下衝撃荷重載荷実験および計測システムの概要について述べている。

第３章では，第２章で示した RC 版の重錘落下衝撃荷重載荷実験とその結果について述べている。

第４章では，数値解析モデルや材料構成則およびその他の解析条件について述べる。

第５章では，低速度衝撃を受ける RC 版の耐衝撃挙動に及ぼす要素分割，材料構成則および減衰定数などの影響を確認するために，第３章で示した代表的な実験結果を対象に

弾塑性衝撃応答解析を実施している。得られた結果と実験結果の比較より，RC 版の耐衝撃挙動を適切に再現可能なパラメータを同定した。さらに，提案の解析手法を用いて，衝突速度の異なる４種類の RC 版に対して数値解析を実施し，RC 版の終局状態を数値解析的に推定評価する手法を提案している。

第６，７章では，コンクリート強度および版厚が異なる RC 版を対象に，提案の解析手法を用いた数値解析を実施し，実験結果との比較によって，提案の終局状態推定手法の適用性について検討を行っている。その結果，提案の終局状態推定法は，版厚の薄い場合を除き，コンクリート強度や版厚にかかわらず適用可能であることを示すとともに，RC 版の耐衝撃能力に相当する最大入力エネルギーを安全側で評価できることを明らかにしている。

第８章は本論文の結論であり，本研究で得られた知見を整理している。

ABSTRACT

When a reinforced concrete (RC) slab structure, which is one of the main structural members, is subjected to static and localized concentrated loads, it is well known that the failure mode is the punching-shearing mode. And its design specification has been established. On the other hand, a rational impact-resistant design procedure for the slab under low-velocity impacts such as falling rocks has not yet been established. Therefore, the design specification needs to be smoothly established by efficiently conducting not only experimental but also numerical research studies.

From this point of view, in this study, to establish a numerical analysis method for predicting the ultimate state of the RC slabs under low-velocity impact loading, 3D elasto-plastic dynamic response analyses were conducted for simply supported rectangular RC slabs. First, the effects of the mesh size, constitutive law of concrete, rebar modeling, and damping factor on the dynamic behavior of the RC slab under impact loading were investigated by comparing with experimental results. Then, the appropriate parameters were specified in order to properly simulate the dynamic behavior of the slab. Next, by investigating the experimental and numerical results in detail, a new criterion was proposed to determine the ultimate state of the slab, that is, when the second wave of the impact load disappears and no free-damping vibration is excited in the reaction force and deflection after the unloading. Finally, the applicability and universality of the proposed criterion were investigated by comparing

with experimental results for the slabs with various compressive strengths and slab thicknesses.

The results obtained from this study are: 1) when RC slabs before reaching the ultimate state, the circular cracks due to punching shear failure and diagonal cracks on the bottom surface, and 45-degree punching shear failure cracks on the central section surface can be better simulated by using proposed FE model; 2) when RC slabs are in a structurally undamaged state, the second wave of the impact force, the natural vibration state of the reaction force and the deflection, and residual deflection after unloading can be analyzed numerically. Therefore, if these dynamic characteristics cannot be analyzed numerically, then the slab can be evaluated upon reaching the ultimate state, and 3) for RC slab with the height-to-span ratio ≥ 0.1, the maximum impact energy capacity, which may be equivalent to the load-carrying capacity of the RC slabs under low-velocity impact loading, can be conservatively (on the safe side) evaluated by using the proposed criterion.

論文審査結果の要旨

構造物の主要な部材の１つに鉄筋コンクリート（RC）版がある。RC版に静荷重が局所的に作用する場合には押し抜きせん断破壊によって終局に至ることが知られており，その設計法も確立されている。一方，RC版に落石などの低速度衝撃が作用する場合には，未だ合理的な耐衝撃設計法が確立されていないことから，衝撃耐力を適切に評価する手法の確立が求められている。低速度衝撃を受けるRC版の耐衝撃設計法を確立し，実構造物への適用を早期に実現するためには，実験的検討と数値解析的検討を併用して効率的に研究を推進することが重要である。

このような観点より，本研究では低速度衝撃を受けるRC版の衝撃耐力を評価可能な数値解析的手法の確立を目的として，四辺単純支持矩形RC版を対象に三次元弾塑性衝撃応答解析を実施し，実験結果との比較によって提案手法の妥当性について検討を行った。まず初めに，RC版に関する数値解析結果への各種パラメータの影響を確認するために，代表的な試験体を対象に，要素分割，材料構成則，減衰定数などを変化させた数値解析を実施し，実験結果を適切に再現可能な解析条件を同定した。その後，衝突速度の異なる衝撃荷重載荷実験を対象に数値解析を実施し，数値解析結果と実験結果を比較することによって提案手法の妥当性を検討した。本研究では，終局時には衝撃荷重の第２波目の波形が消失することや除荷後の支点反力およびたわみ応答には減衰自由振動が励起されない特徴を有することを実験結果ならびに数値解析結果から確認し，これらの状態に至る場合をRC版の終局状態であるとして評価する手法を提案した。最後に，提案の終局状態評価手法をコンクリート強度

や版厚が異なるRC版に適用し，実験結果と比較することによってその適用性を検証した。

その結果，(1)提案の解析手法を用いることによって，RC版が終局に至っていない場合には，実験結果の各種時刻歴応答波形やひび割れ分布を概ね再現可能である。(2)コンクリート強度や版厚にかかわらず，終局状態に至る重錘の最小衝突速度を安全側で評価できることより，RC版の終局時入力エネルギーを適切に評価できることなどを明らかにしている。

以上の成果は，低速度衝撃を受けるRC版の耐衝撃挙動ならび衝撃耐力評価に関する数値解析的手法の確立に寄与するところ大であり，本論文は博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認められる。