

RC 版の衝撃応答に及ぼすコンクリートの降伏条件の影響に関する一検討

九州大学大学院 学生会員 ○合屋 智史

九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹

九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. はじめに

消波ブロック被覆ケーソン式混成堤は、台風時などに強い波力が作用した場合、ケーソンの前面に敷設された消波ブロックが動揺してケーソン壁に衝突することがある。その衝突が繰返されることでケーソン壁に穴が開くという被害事例が多発して問題となっており、合理的な設計法の提案やその対策が必要である。そこで、著者らは RC 版の穴開きメカニズム解明に向けて、3次元有限要素法を用いた RC 版の衝撃応答解析を実施し、損傷度評価や耐繰返し衝撃性能について検討してきた。その結果、RC 版の衝撃応答や破壊挙動を適切に評価するには、コンクリートの降伏条件に静水圧依存性、ひずみ速度依存性、圧潰による局所損傷を導入する必要があることが示唆された。しかし、それらが RC 版の破壊挙動にどの程度影響を及ぼしているかなどは明らかになっていない。そこで、本研究では、基礎的検討として、降伏条件に静水圧依存性を考慮することによって、RC 版の衝撃応答やひずみ分布に及ぼす影響を考察した。

2. 静水圧依存性を考慮するための降伏条件について

2.1 平面キャップを有する Drucker-Prager の降伏条件

本研究では、静水圧依存性を考慮できる降伏条件の中で Drucker-Prager の降伏条件に着目した。Drucker-Prager の降伏条件式は式(1)に示すように、静水圧 I_1 の項が含まれており、これにより静水圧依存性が考慮される。 $\alpha=0$ の場合は、von Mises の降伏条件となり、静水圧依存性は考慮されない。

$$f = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k = 0 \quad (1)$$

ここで、 α および k は単軸圧縮強度、引張強度により決定されるパラメータである。また、高静水圧作用時のコンクリートの特性を適切に評価するため平面キャップモデルを導入した。平面キャップモデルには式(2)に示す Chen らのモデルを用いた。このモデルでは、キャップ位置 I_1^h は式(3)に示すように、塑性体積ひずみ ε_v^p と関係づけられる。

$$f = I_1 - I_1^h(\varepsilon_v^p) = 0 \quad (2) \quad I_1^h(\varepsilon_v^p) = \frac{1}{D} \ln \left(1 + \frac{\varepsilon_v^p}{W} \right) + I_1^{ini} \quad (3)$$

ここで、 D は硬化速度、 W は塑性体積ひずみ限界値、 I_1^{ini} はキャップ初期位置である、。

2.2 円柱供試体の3軸圧縮試験のシミュレーション

以上の降伏条件を仮定して、上林ら¹⁾による横拘束を受けるコンクリート円柱供試体の3軸圧縮試験のシミュレーションを行い、静水圧がコンクリートの圧縮性状に及ぼす影響を検討した。解析モデルを図-1に示すが、力学的対称性を考慮して1/4モデルとした。拘束圧の大きさは、拘束圧無し(0MPa)、低拘束圧(5.9MPa)、高拘束圧(94.1MPa)の3ケースとした。また、von Mises の降伏条件を仮定した場合でも解析し、静水圧依存性を確認した。図-2に解析から得られた円柱供試体の応力-ひずみ関係を示す。拘束圧無しの場合は静水圧が作用しないため、降伏強度には仮定した降伏条件の違いによる影響がみられない。一方、拘束圧が作用する場合には降伏強度に明確な差が生じている。Drucker-Prager の降伏条件を仮定した場合は拘束圧に応じて降伏強度は増大しより実験値に近い値となったが、von Mises の降伏条件を仮定した場合は拘束圧の影響が表れていない。Drucker-Prager の降伏条件を仮定することで、拘束圧を受けるコンクリートの圧縮性状を表現できることが確認できた。

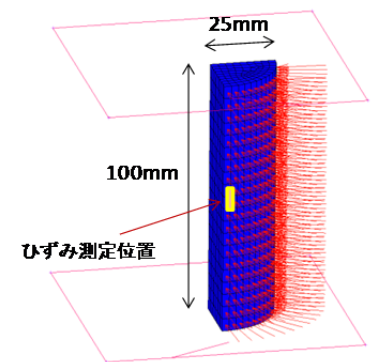
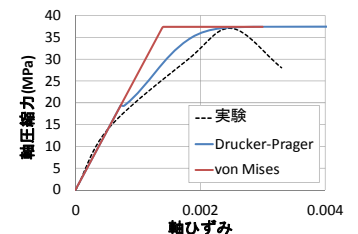
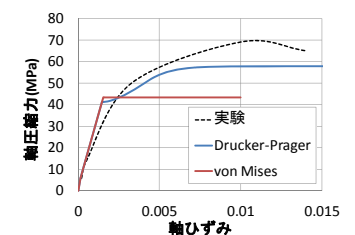


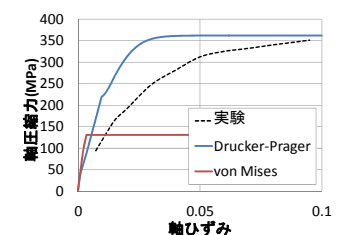
図-1 3軸圧縮解析モデル



(a)拘束圧無し



(b)低拘束圧



(c)高拘束圧

図-2 3軸圧縮解析結果

3. RC 版の衝撃応答解析

3. 1 解析概要

本研究では、岩波らが実施したケーソン壁の側版を模擬した二辺支持 RC 版の重錘落下式衝撃実験²⁾を対象として衝突解析を行った。解析対象は図-3 に示す二辺支持 RC 版で、寸法は 2,300×1,500×160mm である。解析モデルを図-4 に示すが、力学的対称性を考慮して 1/4 モデルとした。衝突条件として、質量 400kg の鋼製重錘を速度 3m/s で衝突させた。解析で用いた材料定数を表-1 に示す。

3. 2 解析結果および考察

衝撃力応答および版裏面中央部の変位応答を図-5、図-6 に示す。両応答に関して、仮定した降伏条件の違いによって結果に大きな差はみられない。衝撃力や変位といった RC 版の全体応答には、静水圧依存性があり影響しないと考えられる。次に、RC 版裏面のひび割れ分布を図-7 に示す。どちらの降伏条件を仮定した場合も、版中央から自由辺および支持辺に向かうひび割れが生じているが、Drucker-Prager の降伏条件を仮定した場合のみ、わずかに放射状に広がるひび割れが確認できる。図-8 に衝突部近傍の損傷状態を示す。なお、相当塑性ひずみがコンクリートの一般的な圧縮破壊ひずみ 0.0035 を超えた場合を損傷とみなした。損傷が生じた範囲を比較すると、Drucker-Prager を仮定した場合のほうがより小さくなっていることが分かる。衝突部近傍では大きな拘束圧が生じるため、静水圧依存性を考慮することにより降伏強度が増加して塑性化しにくくなり、損傷領域が局所化したと推察される。解析対象の RC 版は二辺支持されているため曲げ応答が支配的であると推測される。RC 梁のような曲げ支配型の構造物の解析では、降伏条件の違いによる影響は小さいとされており、本解析においても降伏条件による解析結果への影響があまりみられなかったと考えられる。

4. 結論

本研究では、RC 版の衝撃応答解析手法を確立するための基礎的段階として、静水圧依存性を考慮した降伏条件を仮定し、RC 版の衝撃応答や応力分布に及ぼす影響を考察した。本研究から得られた成果を要約すると以下のとおりである。

コンクリートに静水圧依存性を考慮した平面キャップを有する Drucker-Prager の降伏条件を仮定した場合、von Mises の降伏条件を仮定した場合と比較すると、RC 版の全体応答にはそれほど大きな違いは見られなかったが、版裏面のひび割れ分布や衝突部近傍の破壊挙動に違いが現れた。

参考文献

- 1) 上林勝敏：三軸圧縮応力下におけるコンクリートの動的構成モデルに関する研究，九州大学博士学位論文，平成 14 年 1 月
- 2) 岩永光保，松林卓，横田弘，小野寺美昭：繰り返し衝撃荷重を受ける二辺支持鉄筋コンクリート版の破壊挙動，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.2，p.799-804，2009

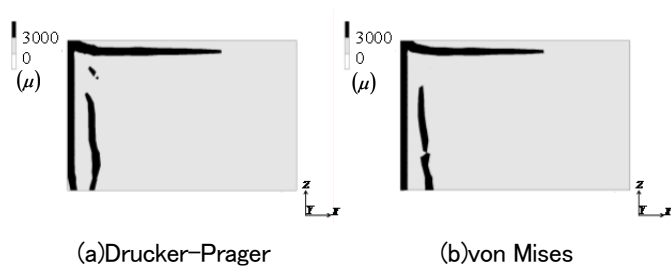


図-7 版裏側のひび割れ分布

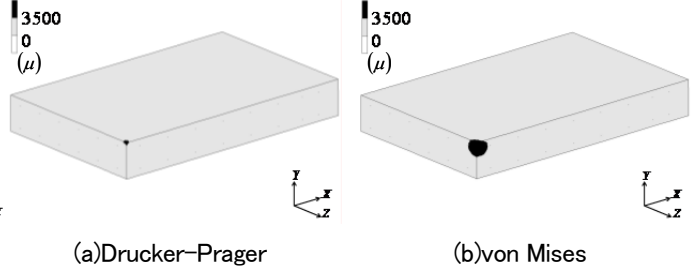


図-8 衝突部近傍の損傷

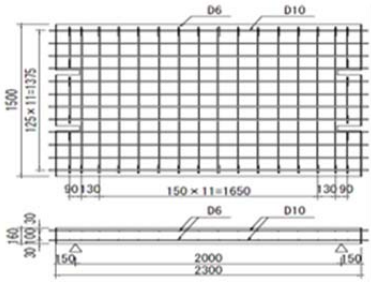


図-3 解析対象の RC 版(単位:mm)

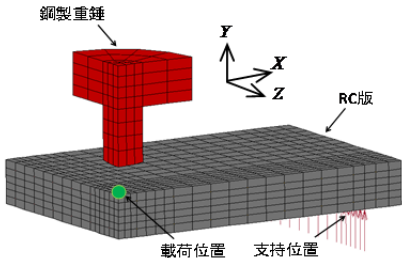


図-4 解析モデル

表-1 材料定数

	密度 (g/cm ³)	ヤング率 (GPa)	ポアソン比	強度 (MPa)
コンクリート	2.30	30.4	0.2	圧縮 44.3 引張 4.43
鉄筋 D10	7.85	206	0.3	384
鉄筋 D6	7.85	206	0.3	365
重錘	7.85	206	0.3	-

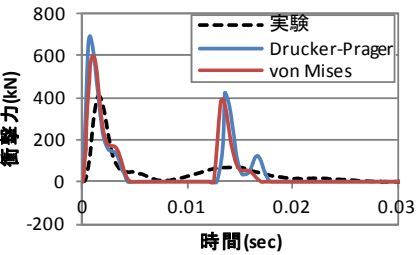


図-5 衝撃力応答

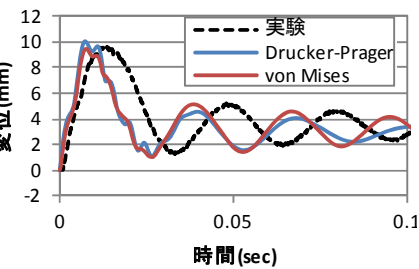


図-6 変位応答