

パレットラックの崩壊抑制方法に関する数値解析的検討

正会員 ○千葉 賢
同 磯部 大吾郎パレットラック 進行性崩壊 有限要素法
ASI-Gauss 法

1 序論

物流倉庫において、荷物を保管するために鋼製のラックが一般的に使用されている。中でもパレットラックは、荷物をパレットと呼ばれる荷役台の上に乗せて保管する倉庫において使用される最も一般的なラックである。このパレットラックが用いられる物流倉庫において、フォークリフトがラックに衝突することで一部のラックが崩壊し、倉庫内のラック全体に連鎖的に崩壊が広がってゆく現象、いわゆる進行性崩壊現象が問題になっている。

ラックの崩壊を抑制する方法に関する研究としては、1列のラックに対して数値解析を行った例[1]がある。ここでは、ラックに対して平面ブレースの崩壊抑制効果について検証しており、ラックの最上段に平面ブレースを設置することで、効果的かつ経済的にラックの崩壊を抑制することができるかと報告されている。

しかしながら、上記の研究において、解析対象となったのはラック1列であり、連結されたラックに対する検証はなされていない。またラックの崩壊挙動までを解析で追うことはしていなかった。連結されたラックに対し効果的な崩壊対策を検討することは、物流倉庫内におけるラックの崩壊事故を未然に防ぐ上で極めて重要である。

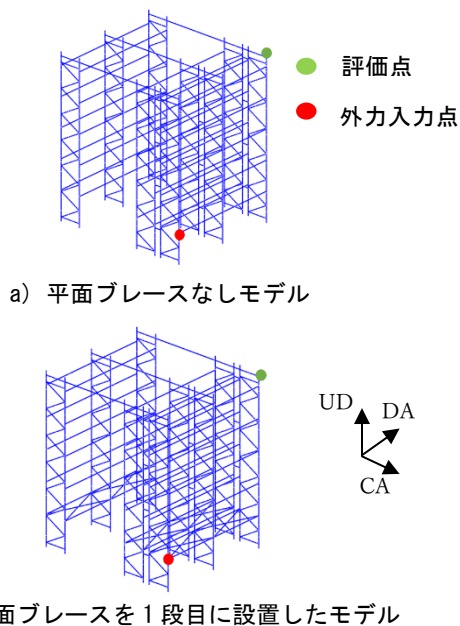


図1 パレットラックの全体解析モデル

そこで本研究では、過積載状態の連結されたラックの進行性崩壊に対する平面ブレースの崩壊抑制効果を検証する。なお、数値解析手法にはASI-Gauss法[2]を用いた。

2 パレットラックの数値解析モデル

2.1 使用するラックの概要

本研究で解析対象とするパレットラックは、支柱、ビーム、ブレース、ベースプレートからなり、隣接するラック同士は背つなぎで接続され、通路を挟んで設置されるラックとは天つなぎで接続されている。ブレースはM10の六角ボルトを1本用いて支柱に接続され、天つなぎ、背つなぎ、ベースプレートはM10の六角ボルトを2本用いて支柱に接続されている。また、ベースプレートはM12の六角ボルトを2本用いて地面に固定されている。ビームは両端についたフックで支柱に接続されたのちに、ビームピンと呼ばれるZ型のピンで固定される。

本解析で使用するパレットラックは欧州規格EN15512に従い、また、部材の材質はインド規格IS5986とIS2062に従うものとした。なお、ラックの1棚当たりの最大積載荷重は2000kgである。

2.2 解析モデル

ラック1列の寸法は、高さ7900mm、奥行き1020mm、ビーム長さは2800mmであり、高さ1450mm毎にビームを設置してある。ラックの奥行き方向をCA方向(Cross Aisle direction)とし、ビーム方向をDA方向(Down Aisle direction)とする。パレットラックの全体解析モデルを図1に示す。本研究においてラックは2間口でビーム段数が5段のものを1列とし、3列モデル化した。なお、ラックに設置される荷物の重量を考慮するために、荷物とパレットの重量をビーム要素に密度として加えた。一方、荷物およびパレットの強度や形状は考慮していない。ラック1棚当たりの積載荷重を過積載の3000kgとし、平面ブレースを設

表1 解析モデル一覧

No.	積載荷重[kg]	平面ブレースの設置段	要素数	節点数
case 1	3000	無	2,567	2,367
case 2	3000	1段目	2,682	2,469
case 3	3000	最上段	2,682	2,469
case 4	3000	全ての段	3,162	2,877

置する段数を変化させ、4つのモデルを作成した。作成した解析モデルを表1にまとめる。本研究では、ブレースのみ座屈挙動を精度良く再現するために10要素分割とした上で、端部をピン接合としている。

3 パレットラックの崩壊解析

3.1 解析条件

本研究では、フォークリフトのラックへの衝突を想定し、ラックに衝撃的な外力を加える解析を行う。図2に示す外力を図1の外力入力点にCA負の方向に入力する。入力する外力の最大値は33.3 kNであり、この値は10.0 km/hで走行する6000 kgのフォークリフトが1秒後に0.0 km/hまで減速すると仮定し、運動量保存則と力積から設定した。また、入力する外力の時間増分は0.001 sであり、総解析時間は9.0 sである。

次に、ラックの構成部材を接続している六角ボルトおよび支柱とビームの接続部に関する破断条件に付いて述べる。六角ボルトの材質はSS400とし、材料の引張強さとボルトの有効断面積から以下に示すように破断条件を設定した[3]。まず、せん断破断条件は引張りの60%とした。M10の六角ボルトは引張軸力が23.2 kN、せん断力が13.9 kN以上になった時に破断することとし、M12の六角ボルトは引張軸力が37.1 kN、せん断力が22.2 kN以上になった時に破断するように設定した。また、支柱とビームの接続部に関しては、せん断力が6.04 kN（鉛直上方向）、26.5 kN（それ以外の方向）の値を超えた時に破断するように設定した。接続部の破断曲げモーメントは1.5 kN・mとした。

本解析ではラックの崩壊挙動を調査し比較するにあたり、ラック最上段の水平方向変位を評価する。水平方向

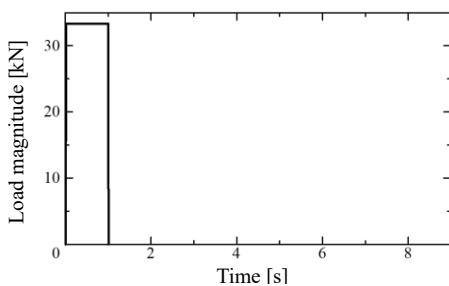


図2 外力条件

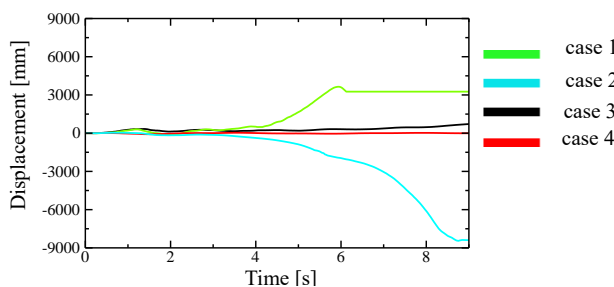


図3 水平方向変位

変位の評価点は図1に示すように設定する。

3.2 解析結果

ラックの崩壊に対する平面ブレースの抑制効果の検証を行う。解析結果の図3より、case 1, 2に比べてcase 3, 4では水平方向変位が極めて小さくなっていることが確認できる。また、case 3とcase 4の水平方向変位の差が小さいことも同様に確認することができた。ラックの崩壊は平面ブレースを設置していないcase 1と平面ブレースを1段目に設置したcase 2のみで生じており、case 3, 4では崩壊は生じなかった。図4より、case 1とcase 3の挙動を比較すると、平面ブレースをラックの最上段に設置することで、ブレースの座屈やラックの変形を抑制し、崩壊が抑制されていることが確認できた。

高層建築物において、ハットトラスシステムを上層部に設けることで、応力伝達経路が増し、全体強度が向上することが知られている[4]。case 3において崩壊抑制効果が大きく表れたのは、ラックの最上段に平面ブレースを導入することで、ラックに対して応力伝達経路が増し、余剰強度が確保されたためと考えられる。

結論

本研究では、パレットラックの崩壊に対する平面ブレースの崩壊抑制効果の検証を行った。その結果、先行研究[1]と同様に平面ブレースを最上段に設置することで、連結されたラックに対しても崩壊を効果的かつ経済的に抑制できることが示された。

参考文献

- [1] A.L.Y. Ng, et al.: Methods of restraining progressive collapse in rack structures, Engineering Structures, Volume 31, Issue 7, July 2009, pp. 1460-1468.
- [2] D. Isobe: Progressive Collapse Analysis of Structures: Numerical Codes and Applications, Elsevier, eBook ISBN: 9780128130421, Paperback ISBN: 9780128129753, 2017.
- [3] 株式会社ヨット印・ダイワ (<http://yds-hp.co.jp/kisotishiki.htm>)
- [4] 坪井善昭, 大泉楯, 原田公明, 鳴海祐幸, 小堀徹: [広さ][長さ][高さ]の構造デザイン, 建築技術, 2007.

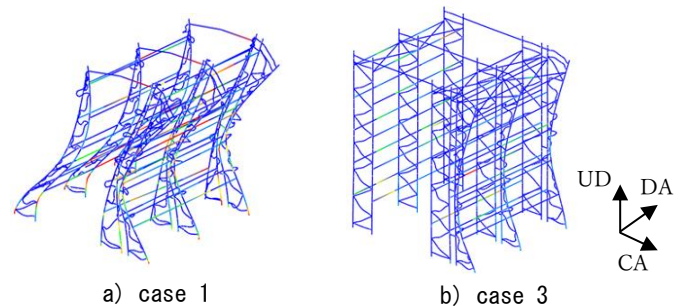


図4 解析結果 (5.0 s)

* 筑波大学大学院 システム情報工学研究群 大学院生

** 筑波大学 教授・博 (工)

* Graduate Student, Univ. of Tsukuba

** Professor, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.