

1. 油圧ショベル用転倒時保護構造(ROPS)キャブの開発

日立建機（株）○田村和久、小松和則、飯島亨

1. はじめに

土工機械の多くの種類では機械の転倒時保護構造（以下 ROPS : Roll-over protection structure）が用意され、転倒時に運転員を保護する事となっている。油圧ショベルでもその構造や特性に合わせた転倒時保護構造として、日本建設機械化協会団体 JCMAS-H08 が平成 15 年に制定された。この JCMAS に基づく国際規格化を審議中で、内容も ROPS となり要求性能も上がっている。今回新たに排ガス三次規制対応として発売した ZX-3 型油圧ショベル用キャブを本 ROPS 規格に対応すべくシリーズ開発を行なった。量産適用には視界や昇降性、生産性を損なう事なく必要な強度を得る事が重要で、キャブ部材が塑性変形しながら吸収するエネルギーをシミュレーションし最適構造を決定した。又車重により要求される強度が大きく変化する為に強度部材等の追加によるシリーズ化方策を確立した。最終的には実キャブをテストベンチにかけシミュレーション結果を確認・検証、要求仕様を満足するキャブ開発を実現した。（写真 1）



写真1 ROPS キャブ搭載 ZX200-3



写真2 実機転倒事故状況（旧 EX-5 型）

2. 規格化の動向

JCMAS-H08 が制定される以前は油圧ショベルの転倒時保護要求規格は 6 t 未満のスイング式フロント構造のミニショベルに TOPS(Tip-over protection structure) が規格化されているが 6 t 以上の油圧ショベルには ROPS 及び TOPS 等の適用が無かった。これは転倒してもフロント等他の剛性の高い部分による保護が期待できる場合がある事（写真 2）、他の土工機械と比較して走行の頻度が低いので転倒の比率も低いと思われる観点からである。しかしながら、油圧ショベルは稼働台数が非常に多い事もあり、ミニや他土工機械と比べて比率は低いとしてもかなりの数の転倒事故が発生しており、その場合重大な人身事故となる虞がある事から油圧ショベルの ROPS の規格が必要とされた。そこで油圧ショベルの生産量が世界的に圧倒的に多い日本が規格制定

にリードすべく H10 年に社団法人日本建設機械化協会 ISO 規格部会第 2 委員会に所属の TOPS 試験分科会が発足し事故分析、実験・解析等を実施し、JCMAS 制定に至った。さらに実車実験の結果から油圧ショベルも 360 度転倒する事から本規格も油圧ショベル ROPS とし垂直と後方荷重を追加、要求性能を上げて ISO 化を進めているところである。（図 1）

	JCMAS-EOPS (JCMAS-H08)	ISO-ROPS (ISO/CD 12117-2)
側方負荷エネルギー (J)	13,000(M/10,000) ^{1.25}	13,000(M/10,000) ^{1.25}
側方負荷荷重 (N)	-	35,000(M/10,000) ^{1.2}
後方負荷エネルギー (J)	-	4,300(M/10,000) ^{1.25}
垂直負荷荷重 (N)	9.8M	12.75M

M=車体重量(Kg)

図1 EOPS-ROPS 要求性能

3. ROPS キャブ開発

(1) 開発経緯

当社では前モデルである ZX-1 型 (H12 発売) に当社で初めてキャビン自体を強化し転倒時保護を目指したキャブ、CRES(Center pillar reinforced structure)キャブを市場投入した。(写真3) 本機はプレス構造キャブの外観デザインを損なう事なく、センターピラーを中心にレーンフォースを挿入し構造強化を図った。(図2)

本機を開発するに当たっても前述の TOPS 試験分科会の規格化推進状況を鑑みたものであり事前検証を精度良く予測する為にシミュレーションモデルの構築をいち早く実施した。TOPS と ROPS に要求される大きなポイントは側方吸収エネルギーを達成する事である、この実現にはある程度構造体を塑性変形させてエネルギーを確保する必要がある。これをシミュレーションで再現するには材料特性は非線形で構造も非線形である弾塑性大変形解析を実施する必要がある、さらに塑性変形が進むとパネル同士の接触が発生しエネルギー出力に大きく影響する為に各部材の接触も定義しなくてはならない。これらを比較的簡単に解析するには陽的解法を使用する事がベストと考え当社では仏 ESI 社製 PAM-CRASH を用いる事とした。パネルの材質である SPCC-SPHC の材料特性はテストピース試験を行い非線形性を入力した。図3に旧 EX-5 型キャブでの試験結果と計算結果の変形状態を示す、図4に吸収エネルギーの推移を示す。試験結果と計算結果は非常に良い一致を示し、TOPS-ROPS 設計検討に十分な精度で使用出来る事を確認した。



図2 ZX-1 CRES キャブ構造

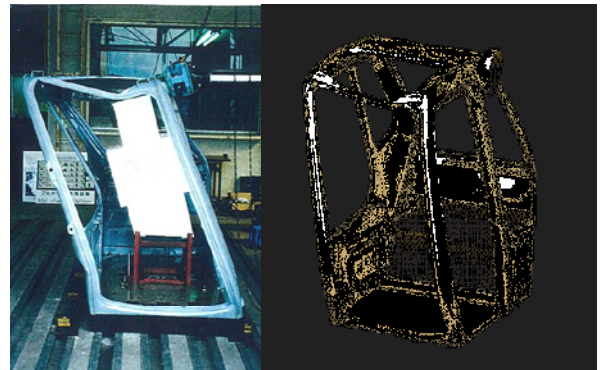


図3 側方負荷試験結果と解析結果



写真3 前モデル ZX-1 型 (CRES キャブ)

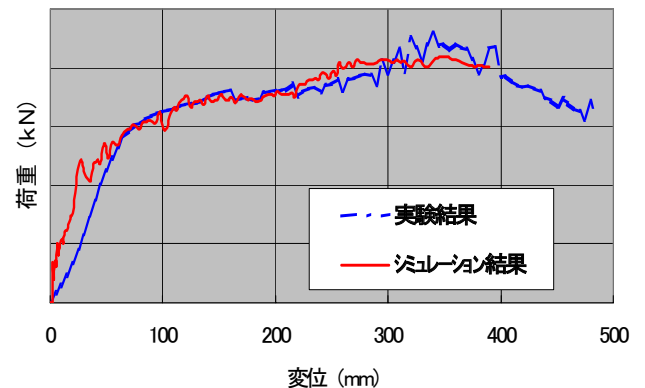


図4 側方負荷吸収エネルギー結果



写真4 実機横転試験状況（旧 EX-3 型）

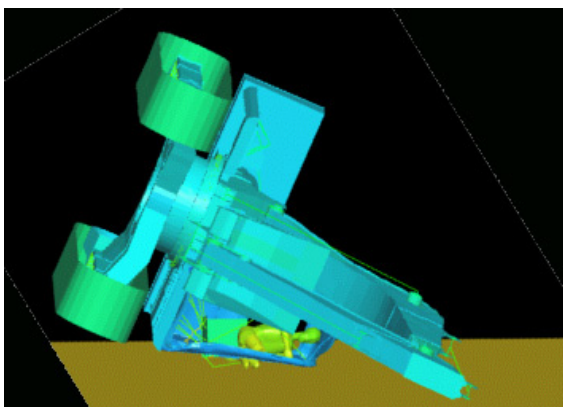


図5 車体横転解析結果



図6 ZX-3 ROPS キャブ構造

さらに実際の車体転倒時の負荷を予測可能とすべく本シミュレーションモデルをベースに車体全体モデルを構築し社内にて実施した実機横転試験結果（写真4）を参考に車体転倒・横転が予測出来るモデルを構築した。図5にシミュレーション結果を示す、キャブの変形状態は実機実験結果を良く再現出来ており、その後本解析が後にROPS化の垂直荷重、後方荷重を決定する大きな鍵となった。

（2）ROPS キャブ開発

当社としては転倒や落石のリスクを伴う悪条件の現場でもオペレータの安全を最優先に確保すべく積極的に安全性能を追求する事を製品開発方針とし、2006 年発売の排ガス3次対応機開発に際しキャブに関して、現在国際規格 ISO 審議中の ROPS 規格の要件を満足し適用機種を車体重量50トンまでとする事を開発要件と設定し開発を実施した。本 ROPS に適合する為の車重50トンを考慮すると、側方負荷エネルギーにて ZX-1 に対して数倍の強度が必要とされ、加えて垂直負荷、後方負荷要件が追加されており更なる高強度のキャブ開発が必要となる。

本強度要件を満足させると共に量産性、コスト、視界性能、昇降性能等を現行機レベルを維持する事等を考慮し、従来のプレスパネル構造から、一部 ZX-1 後方小旋回型機に採用した厚肉異型断面パイプ+プレスパネル構造を採用した。図6に本 ROPS-キャブ外観を示す。又本キャブは車体重量11トンから50トンまでの搭載を考慮しているが、要求強度とコストのバランスにより

- 1) Aタイプ（～23トンクラス）
- 2) Bタイプ（24トンクラス～35トンクラス）
- 3) Cタイプ（～50トンクラス）

の3タイプ設定する事とした。その際、メイン構成部材である異型断面パイプ、プレスパネルは各タイプ共通とした。図7にAタイプキャブ強化構造を示す。Aタイプキャブに対して、強度メンバを追加する事によりBタイプを設定した。図8にBタイプ強化キャブ構造を示す。さらに高強度キャブ実現の為にCピラーとの結合は鋳鋼ジョイントを採用して強度アップ



図7 Aタイプキャブ構造



図8 Bタイプキャブ構造

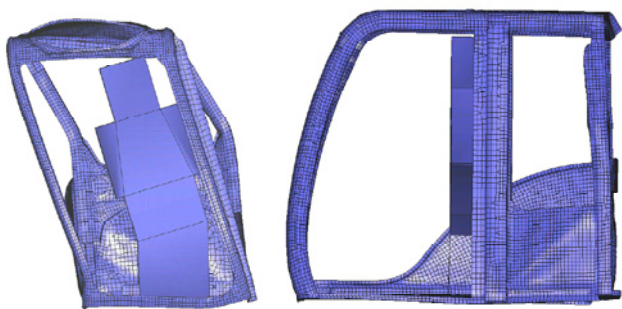


図9 ROPS 負荷時変形状態

プを図った。本 ROPS キャブ開発には CRES キャブ開発ノウハウを踏襲しつつ、確立したシミュレーションをフルに活用しメイン部材、及び各強度メンバの設計に適用し事前に強度レベルを把握しながら最適設計を行なった。図9に各荷重負荷時の変形状態を示す。最終的には供試体キャブを製作し ROPS 試験機にて実験を実施し、全てのカテゴリのキャブにおいて ROPS 強度要求値を達成し、量産化適用を可能とした。

4. おわりに

今回開発を行なった ROPS キャブは技術的にも相当ハードルは高かったが当社が長年構築したキャブ開発技術・シミュレーション技術を駆使し目処をつけ、視界性、昇降性、量産性、コストを十分満足する油圧ショベル用 ROPS キャブを世界に先駆けて50tクラス対応を実現し、世界トップの安全キャビンを開発、2006年1月に市場投入する事が出来た。このような安全機能は万一を想定するもので即顧客の評価には結び付かないが、不幸中の幸いで本 ROPS キャブ搭載のレンタル機で斜面の現場道路を走行中に、不意に旋回をしたところ下り方向へ滑り出し約2m下の路肩に転落する事故が発生したが本キャブはびくともせずオペレータは無事であった、その後このお客様から“怪我一つ無く無事にいられたのは、この機械のお陰である。この機械を命の恩人として買いたい。”との嬉しい言葉を頂いた。苦労が報われた感があり、今後も安全な機械をリーズナブルな価格で市場に投入する事が我々の宿命であると肝に銘じ製品開発を行う所存である。