#### 車体強度小委員会活動報告

(公財)鉄道総合技術研究所 車両構造技術研究部 石塚弘道

#### 車体強度小委員会の活動目標

衝突時の車体変形・破壊挙動を対象としたFEM解析の精度向上





#### 部分構造試験体落錘試験











# <u>落錘試験条件</u>

試 番	第1回目	第2回目	第3回目	第4回目	第5回目
(試験体番号)	(試験体番号) (A5)		(A3)	(A1)	(A4)
重錘質量(kg)	105	105	105	105	105
重錘落下高さ(m)	5	2	0.75	0.75	0.75
衝撃速度(km/h)	35.6	22.5	13.8 13.8		13.8
衝撃エネルギー (kJ)	5.15	2.06	0.772	0.772	0.772
衝撃位置	①リブ頂点	①リブ頂点	①リブ頂点	①リブ頂点	②リブ頂点間
備考		第1回目の試験結 果を踏まえて衝撃 エネルギー減	事前解析で面板 破断無し	第3回目の再現性確 認試験	衝擊位置変更



#### A1試験体:重錘落下高さ 0.75m





## <u>解析対象落錘試験条件</u>

試 番	第1回目	第2回目	第3回目	第4回目	第5回目
(試験体番号)	(A5)	(A2)	(A3)	(A1)	(A4)
重錘質量 (kg)	105	105	105	105	105
重錘落下高さ(m)	5	2	0.75	0.75	0.75
衝擊速度(km/h)	35.6	22.5	13.8	13.8	13.8
衝撃エネルギー (kJ)	5.15	2.06	0.772	0.772	0.772
衝撃位置	①リブ頂点	①リブ頂点	①リブ頂点	①リブ頂点	②リブ頂点間
備考		第1回目の試験結 果を踏まえて衝撃 エネルギー減	事前解析で面板 破断無し	第3回目の再現性確 認試験	衝擊位置変更















応力三軸度 τ



### <u>応力三軸度と破断ひずみの関係(模式図)</u>



#### <u>LS-DYNA Johnson-Cook破壊モデル</u>

$$\varepsilon_{\rm pf} = f\left(\frac{p}{\sigma_{\rm vm}}, \frac{27J_3}{\sqrt{2\sigma_{\rm vm}^3}}\right) g(\dot{\varepsilon}_{\rm p})h(T)i(l_{\rm c})$$

















#### <u>応力三軸度と破断ひずみ</u>

(引張試験)



10

2 2 4 4 4 4 4 4 4 4





画像相関法による引張試験

## <u>応力三軸度と破断ひずみ</u> (試験結果とFEM解析結果)



母材部

溶接熱影響部

<u>応力三軸度と破断ひずみ</u>





不等断面を有する片持ち梁の先端に集中荷重を負荷した際のたわみ量と等しくなる 一定断面を有する片持ち梁の板厚を求める

$$t = t_1 L \left\{ \frac{b^2}{3} \times \frac{1}{\frac{\ln \frac{bL+a}{a}}{b} - \frac{1}{2b} + \frac{a}{b(2bL+2a)} - \frac{L(2bL+a)}{2b^2L^2 + 4abL + 2a^2}} \right\}^{1/3} \qquad \begin{array}{l} \text{in } t > t > t \\ a = t_2 / t_1, \ b = (1-a) / t_1 \\ b = t_2 / t_1, \ b = (1-a) / t_1 \end{array}$$







## <u>FEM解析結果と試験結果</u>



## <u>ま と め</u>

(1) Tabulated Johnson-CookモデルによるFEM衝突解析の精度向上のためには、応力三軸度と破断ひずみおよび 解析要素サイズと破断ひずみの関係を明らかにして、LS-DYNAでは、MAT\_224としてモデル化する必要がある.

(2) 車体の側面を模擬した部分構造試験体による落錘試験(重錘質量:105kg,落下高さ:2m)を対象として, 「応力三軸度・破断ひずみ関係」と「要素サイズと破断ひずみの関係」を使用しFEM解析を実施した.以下の条 件で解析を行った結果,試験結果と,吸収エネルギーにおいて一致した.これは,EN15227-2020: Railway applications - Crashworthiness requirements for rail vehiclesで要求される'解析結果と試験結果の差は10%以 内'を満たす.

解析条件

 ①ダブルスキン形材同士の溶接継手部における隅R部では局部的に板厚が増加するため、当該部のモデル化が 重要である.要素分割は1分割として隅R部の等価板厚を求め、通常の完全積分要素でモデル化する.
②ダブルスキン形材同士の溶接継手部近傍の要素には、HAZの材料特性を適用する.
なお、解析では、試験を撮影したビデオ映像から推定して、重錘は5° 傾斜して試験体に衝突したとした.



◎ 小型試験片を用いた高速引張・圧縮試験



### 高速引張試験結果





◎ 円管落錘試験









円管落錘試験結果(吸収エネルギー)



◎ 部材落錘試験









アルミニウム合金製車両を対象とした

衝突解析の精度向上

2021年3月

アルミニウム車両委員会 車体強度小委員会

## ご清聴ありがとうございました



試験片	w	R	bo	L <sub>o</sub>	L <sub>c</sub>	a <sub>o</sub>	備考
A (板材)	35mm	25mm	25mm	50mm	60mm	2.5mm 3.5mm	JIS Z 2241 5号試験片
B (押出形材)	20mm	25mm	12.5mm	50mm	60mm	3.5mm 4mm	JIS Z 2241 13B号試験片







