

地震時に避難施設となる体育館の 即時被災度判定システムの開発に着手

(問い合わせ)

構造研究グループ

上席研究員 森田 高市

研究員 長谷川 隆

Tel 029-864-6623

E-mail morita@kenken.go.jp

概要

背景・目的

今後の発生が懸念される**首都直下地震等の巨大地震**に対しては、地震後に**避難施設として利用される体育館**においても大きな被害が生じる可能性がある。そのため、このような地震に対して**地震直後に体育館の被災度を判定**できる手法を検討する。

研究概要

本研究では、避難施設となる体育館(**鉄骨引張ブレース骨組**)を対象として、以下の項目について検討を行っている。

- 1) **鉄骨引張ブレース骨組試験体の振動台実験**を行い、骨組が倒壊するまでの**限界耐震性能**や**継続的に使用できる限界変形**等を明らかにした。また、**地震計の記録と被災度判定表**を用いて建物の被災度を**迅速に判定する手法**を検討した。
- 2) 地震後の被害状況の写真によって、**AIや画像処理の技術**を用いて**地震後の体育館の被災度を判定するアプリ**について、実際の被害写真や振動台実験等の結果を用いて検討した。

今後の展開

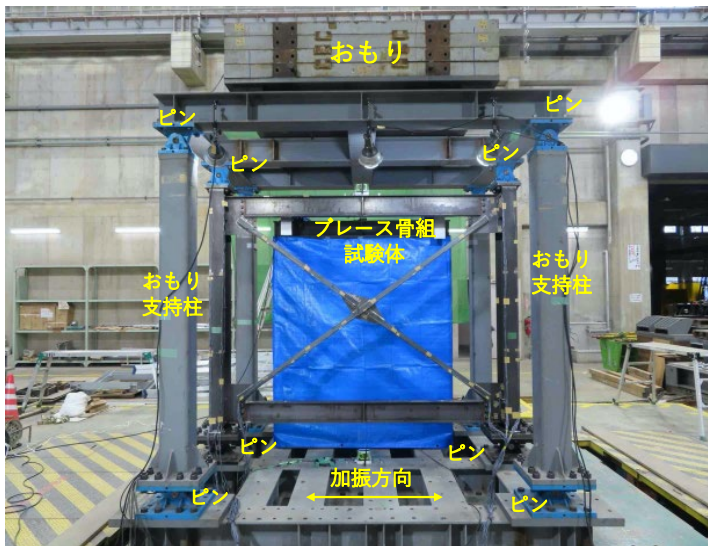
今後、これらの地震計の記録と被災度判定表を用いた手法とAIを活用したアプリを用いた手法による体育館の即時被災度判定システムに関する実用化に向けた検討として、**実際の体育館に地震計等を設置して地震観測**を行い、**収集したデータによって提案するシステムの妥当性を検証**し、このシステムの社会実装を目指す。

(1)地震計の記録による体育館の被災度判定手法の開発

①鉄骨引張ブレース骨組試験体の振動台実験の概要

ブレースの種類（山形鋼ブレースとターンバックルブレースの2種）と地震動特性（断層近傍地震動と長継続時間地震動の2種）に関して、4体の試験体について振動台実験を行い、倒壊までの限界性能と継続使用が可能な損傷状態を検討した。

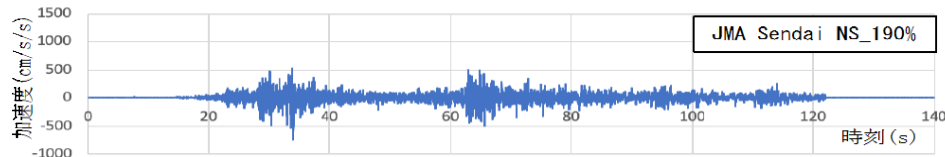
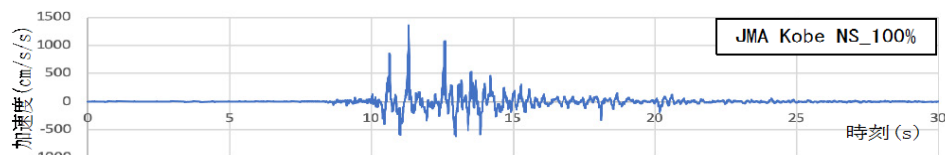
試験体一覧



振動台実験の外観

試験体名称	柱断面 (鋼種)	梁断面 (鋼種)	ブレース断面 (鋼種)	入力地震動	ブレース降伏耐力* から計算される水平 せん断耐力(Qu)	搭載重量 (W)	Qu/W
L-Kobe	H-250 × 125 × 6 × 9 (SS400)	H-175 × 90 × 5 × 8 (SS400)	山形鋼 L-45 × 45 × 4 (SS400)	JMA-Kobe NS	78.6kN	134.6kN	0.58
L-Sendai				JMA-Sendai NS			
T-Kobe			JIS 建築用ター ンバックル M20 (SNR400B)	JMA-Kobe NS	59.9kN		0.45
T-Sendai				JMA-Sendai NS			

* 材料試験結果に基づいて計算した耐力

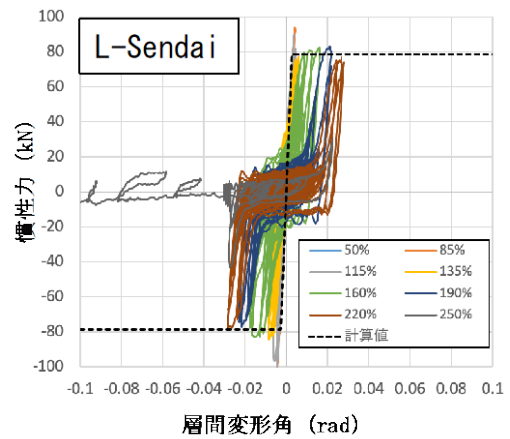
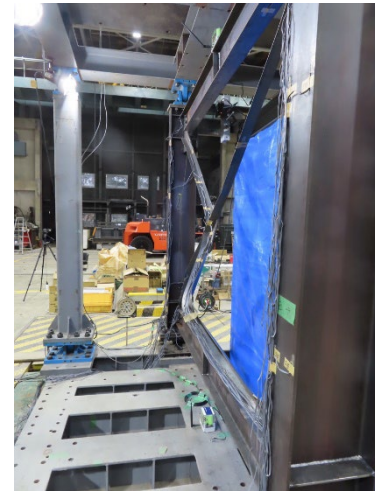
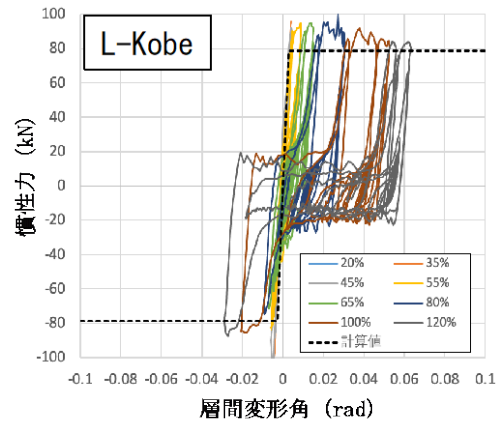


入力地震動の時刻歴波形

(1)地震計の記録による体育館の被災度判定手法の開発

②振動台実験の結果(慣性力-層間変形関係と最終損傷状況)

■山形鋼ブレース



- Kobe地震波では一方向に変形が進行し、0.06radまで破断無し。Sendaiの地震波では、0.03radでブレース座屈部分が破断、倒壊に至る。
- 継続時間の長い地震では、小さな層間変形でブレースが破断。

(1)地震計の記録による体育館の被災度判定手法の開発

③体育館の被災度判定を行う判定表の提案

地震時の体育館の被災度の判定を行うために、振動台実験結果に基づいて、山形鋼ブレース骨組とターンバックルブレース骨組の最大層間変形角及び最大層塑性率と被災度区分の対応を検討した。

この表を用いることで、地震時の体育館の層の荷重-変形関係がわかれば、最大層間変形角と層塑性率から、建物の被災度が判定できる。

山形鋼ブレースの被災度判定表

構造に関する被災度区分	地震計による損傷検知で被災度判定に用いる損傷指標と閾値（両方とも満足）		想定される損傷の状況
	最大層間変形角 (Rmax)	層塑性率 (μ)	
0s (無被害)	$R_{max} < 1/300$	$\mu < 1.0$	ブレース、カセット、柱、梁に損傷は見られない。ブレースの残留たわみほとんど無し (0.1%以下)。残留層間変形角無し。
0s ~ Is (軽微 ~ 小破)	$1/300 \leq R_{max} < 1/200$	$1.0 \leq \mu < 2.0$	ブレース、カセット、柱、梁にほとんど損傷は見られない。ブレースの残留たわみわずかにあり (0.5%以下)。残留層間変形角ほとんど無し。
Is ~ IIs (小破 ~ 中破)	$1/200 \leq R_{max} < 1/100$	$2.0 \leq \mu < 3.5$	ブレースに残留の曲がりが見られる。カセットにも少し傾き変形が見られる。
IIIs ~ VIs (中破 ~ 大破)	$1/100 \leq R_{max} < 1/30$	$3.5 \leq \mu < 12$	ブレースがくの字に大きく曲がり、カセットも面外への傾きが大きくなる。骨組の残留層間変形角も大きくなる。
IIIs ~ VIs (中破 ~ 大破)	$1/30 \leq R_{max}$	$12 \leq \mu$	継続時間が長い場合など、地震動の特性によっては、ブレースが破断する可能性がある。

- 構造的に継続使用が可能な状態（変形）としては、山形鋼ブレースは、被災度区分の Is (軽微～小破) で設定した $R_{max}=1/200$ 未満、 $\mu=2.0$ 未満までとなる。
- 想定される巨大地震に対して、対象となる体育館の解析や計算を行うことによって、上記の継続使用可能な変形に収まるような事前の補強方法や設計の提案が可能。

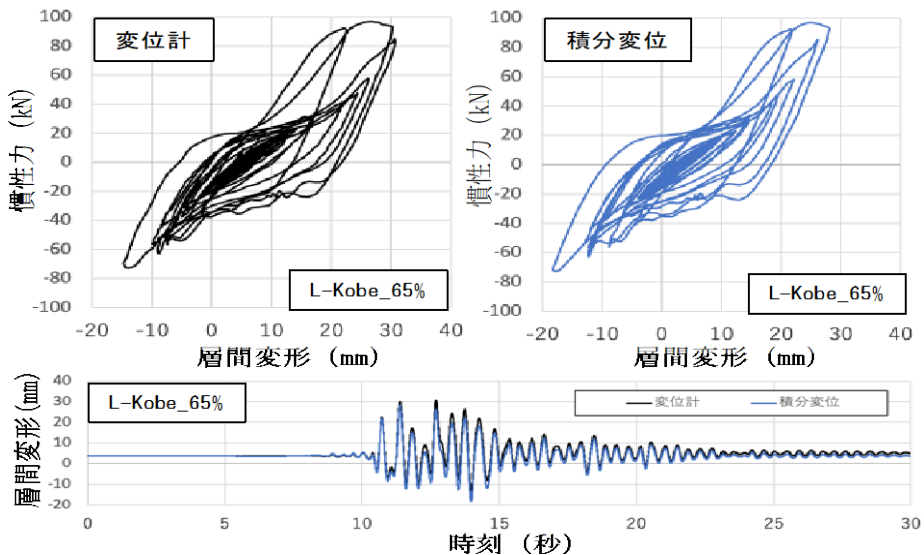
(1)地震計の記録による体育館の被災度判定手法の開発

④地震計の加速度記録の積分による応答変位時刻歴の推定

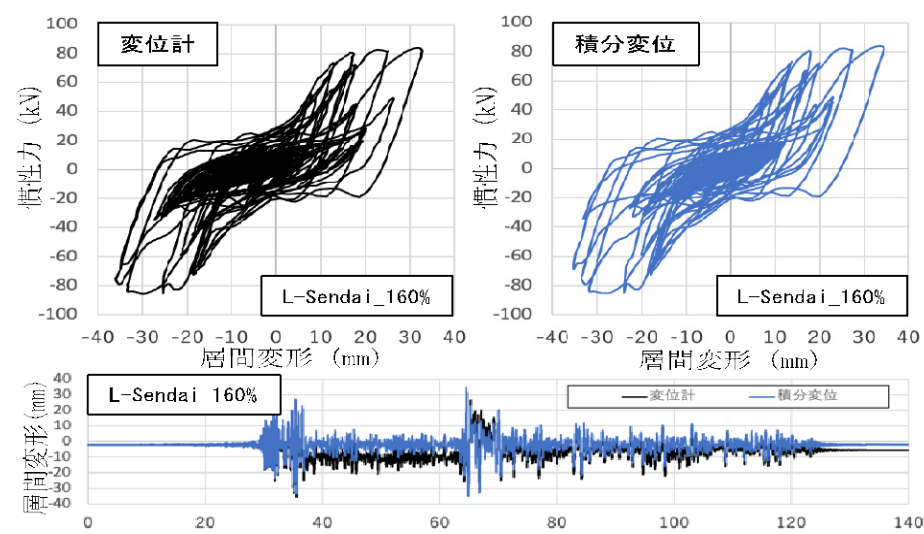
振動台実験の試験体に取り付けた地震計の加速度記録を積分して、応答変位時刻歴を推定する方法の有用性を検討した。

■変位計と加速度記録の積分の比較

山形鋼ブレース (L-Kobe_65%)



山形鋼ブレース (L-Sendai_160%)



・山形鋼ブレース骨組は、大きな塑性変形が生じる加振においても、地震動にかかわらず、加速度記録の積分は変位計の応答を十分に追跡できた。これにより、前ページの被災度判定表を用いた体育館の即時被災度判定が可能となる。

(2)画像のAI処理により体育館の被災度判定を行うアプリの開発

地震後に、画像のAI処理による体育館の部材（ブレース、柱脚・定着部、天井ブレース）の被災度を判定する手法について検討した。AIが学習を行う際には、建築研究所が過去に行った地震被害調査の際に撮影した写真を使用した(図1)。AIの学習結果に基づき、体育館の部材の被災度判定を行うアプリを作成した(図2)。これにより、地震後に体育館部材の写真撮影を行うことで、簡易的に被災度の判定が可能となるが、AIによる正解率は70-90%程度であり精度の向上が今後の課題となる。

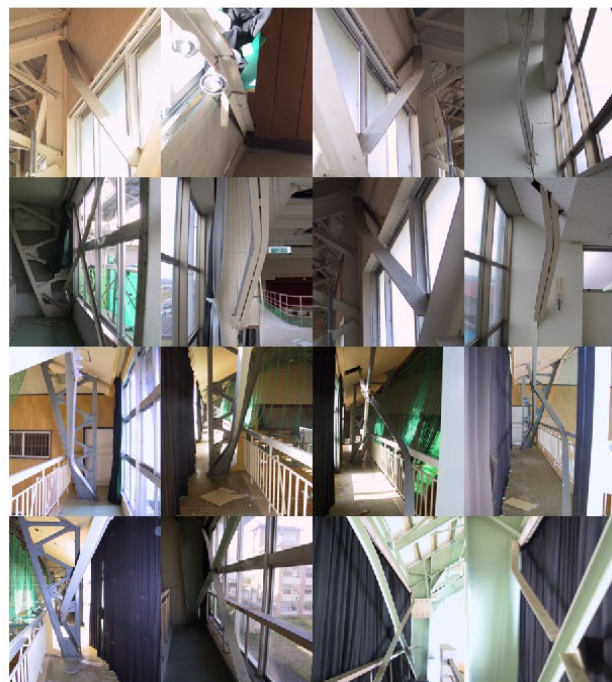


図1 学習に用いた画像の例

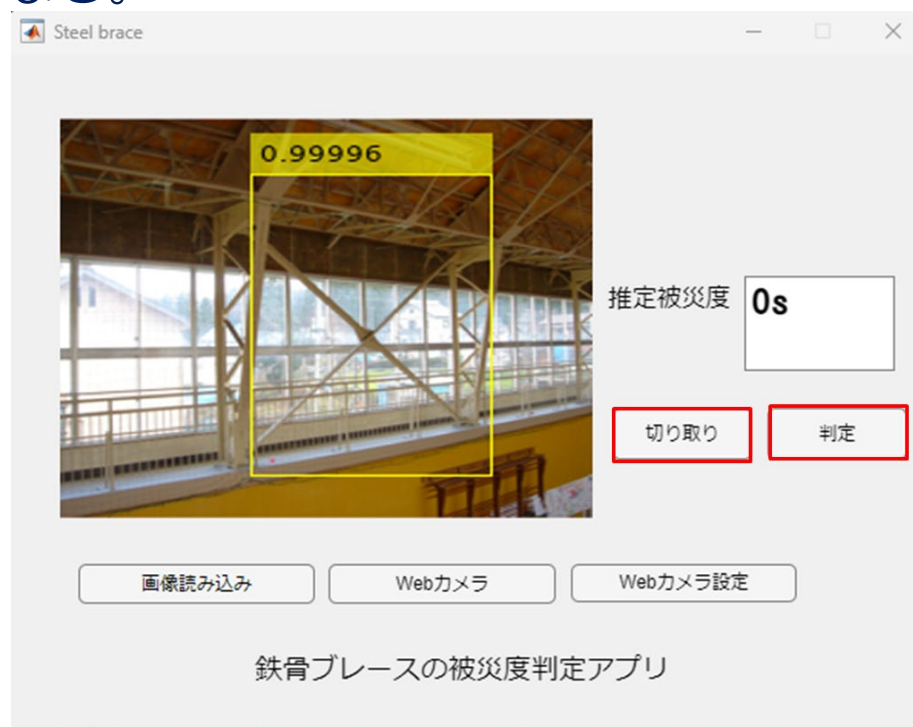
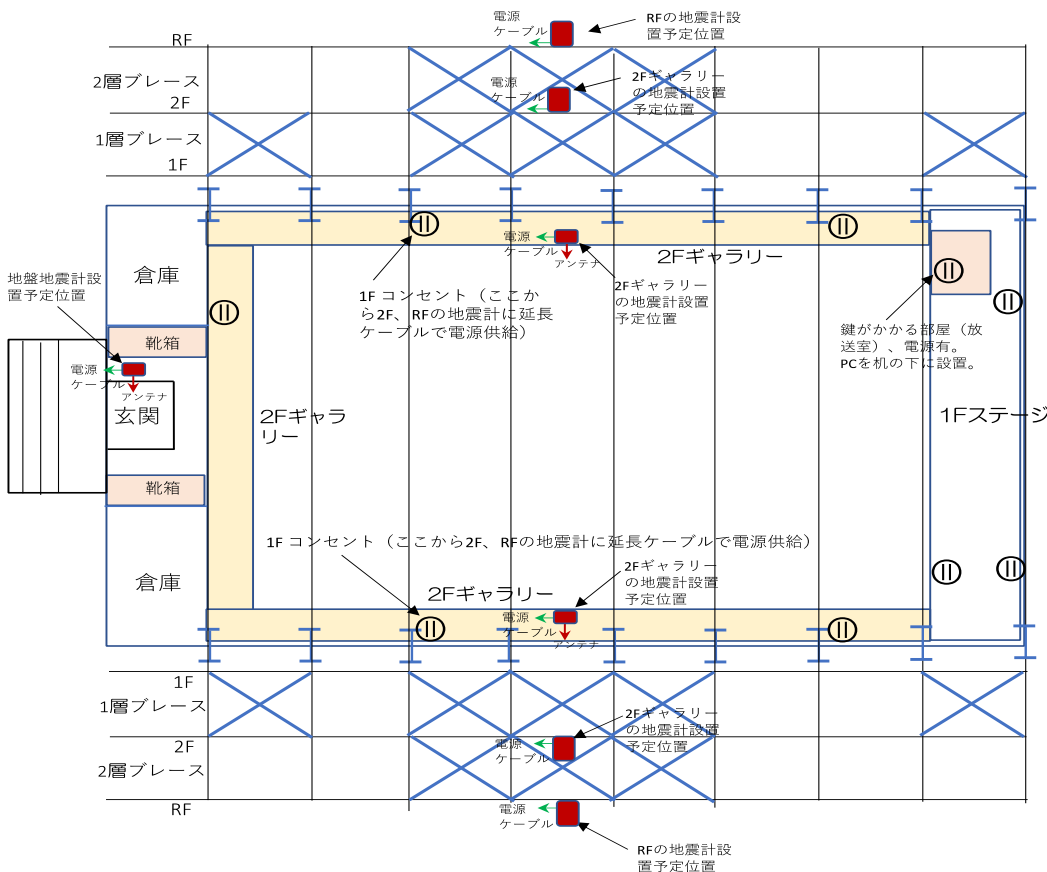


図2 被災度判定アプリの例

(3) 体育館への地震計の設置等による提案システムの妥当性の検証

つくば市と建築研究所は相互協力の協定を締結しており、その協定の下で、つくば市の2校の小学校体育館（山形鋼ブレースとターンバックルブレースの体育館）に地震計を設置して観測データを収集し、実用化に向けて、提案手法の妥当性を検証する。また、地震後には担当教職員により、被災度判定アプリを使用して頂く予定。



山形鋼ブレース体育館の内観



山形鋼ブレース接合部

地震計の設置を予定している山形鋼ブレース体育館の地震計設置予定位置