

1) 構造研究グループ

1) - 4 極大地震動に対する避難施設等の建築物の終局状態の評価と被災度の判定【安全・安心】

Evaluation of Ultimate State and Judgment of Damage Degree for Building Structures Such as Evacuation Facilities against Huge Earthquake Ground Motions

(研究期間 令和4～6年度)

構造研究グループ
Dept. of Structural Engineering
国際地震工学センター
International Institute of Seismology and
Earthquake Engineering

長谷川 隆
HASEGAWA Takashi
中川 博人
NAKAGAWA Hiroto

森田 高市 (令和4～5年度)
MORITA Koichi

In this study, shaking table test was conducted to evaluate the ultimate state of frames with tension braces, which is a common structural type for gymnasiums used as evacuation shelters, against extreme earthquake motions. The method for determining the degree of damage to gymnasiums from the acceleration records of seismometers was also examined in the test. To verify the validity of the proposed method, seismometers were installed in two gymnasiums, and earthquake observations have been being conducted.

【研究開発の目的及び経過】

今後の発生が懸念される首都直下地震や巨大海溝型地震などでは、地域によっては現状の耐震基準のレベルを上回る地震動が予想される。そのような極大地震動に対して、避難施設となる体育館においても大きな被害を生じる可能性がある。また、体育館は地震後に避難所として利用されるため、地震後に避難所として使用できるかどうか迅速な判断が必要となる。

そのため、本研究課題では、学校体育館の一般的な構造形式である鉄骨引張ブレース構造の体育館を対象として、極大地震動に対する終局限界状態の評価方法を検討する。また、地震計の加速度記録から地震時における体育館の被災度を即座に判定する手法を検討する。

【研究開発の内容】

本研究では、上記の研究目的に対応して、以下の3つの研究項目について検討を行う。

- (1) 鉄骨引張ブレース骨組の終局状態と被災度の評価方法の検討
- (2) 地震計による体育館の被災度判定方法の検討と地震計の設置、観測
- (3) エネルギー法に基づく簡易な耐震安全性検証方法の検討

【研究開発の結果】

- (1) 鉄骨引張ブレース骨組の終局状態と被災度の評価方法の検討

極大地震動に対する鉄骨引張ブレース骨組の終局状態の評価と被災度の判定方法を検討し、提案するために、

振動台実験を行った^{1),2)}。振動台実験から得られた骨組の変形と損傷状態から、山形鋼ブレース骨組とターンバックルブレース骨組それぞれについて、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関係を整理した。例として、表1に、山形鋼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表を示す。

表1 山形鋼ブレースの被災度判定表

山形鋼ブレース	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関係（どちらかが満足すれば被災判定となる）		想定される損傷の状況
		最大層間変形角 (Rmax)	層塑性率 (μ)	
0% (無被害)	安全な状態	$R_{max} < 1/300$	$\mu < 1.0$	ブレース、ガセット、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。
0% ~ 1% (軽微～小破)	使用可能 (要注意) な状態	$1/300 \leq R_{max} < 1/200$	$1.0 \leq \mu < 2.0$	ブレース、ガセット、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。
1% ~ 5% (小破～中破)	使用できない状態	$1/200 \leq R_{max} < 1/100$	$2.0 \leq \mu < 3.5$	ブレースに残留の曲がりが見られる。ガセットにも少し傾き変形が見られる。
5% ~ 10% (中破～大破)	危険な (立ち入り不可) 状態	$1/100 \leq R_{max} < 1/30$	$3.5 \leq \mu < 12$	ブレースがくの字に大きく曲がり、ガ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。
10% (大破)	危険 (閉鎖の可能な) 状態	$1/30 \leq R_{max}$	$12 \leq \mu$	継続時間が長い場合など、地震動の特性によっては、ブレースが切断する可能性がある。

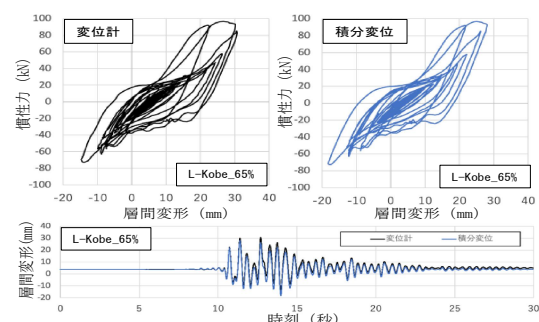


図1 変位計と加速度記録の積分の比較

また、振動台実験の結果、図1に示すように、地震計の加速度記録の積分は、変位計の応答を十分に追跡でき

ることがわかった。これらのことから、体育館に地震計を設置して、地震計の加速度記録を積分して層の荷重-変形関係を推定し、表1の被災度判定表を用いることによって、体育館の被災度を判定することが可能と考えられる。そこで、実際に体育館に地震計を設置して、提案する被災度判定方法の検証を行うこととした。

2) 地震計による体育館の被災度判定方法の検討と地震計の設置、観測

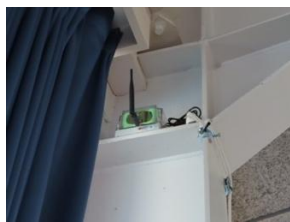
山形鋼ブレースのA体育館とターンバックルブレースのB体育館について、体育館の南北のブレース構面に、それぞれ5台の地震計を設置し（1F、2F北、2F南、RF北、RF南）、地震観測を開始した。写真1に、B体育館の地震計の設置状況と体育館の放送室に設置した被災状況判定表示システム（PC）を示す。この被災状況判定表示システムでは、設置した5台の地震計の観測記録を使って、それらの加速度記録を積分して応答層間変形を計算し、表1の判定表を用いて、体育館の南北のブレース構面の1層と2層の耐震安全性（被災度区分）を判定して表示している。



1Fの地震計



2F(北)の地震計



RF(北)の地震計

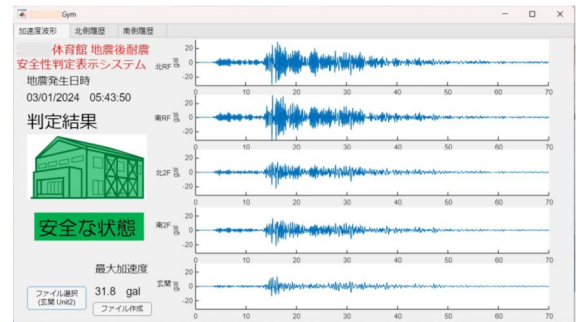


被災状況判定表示システム

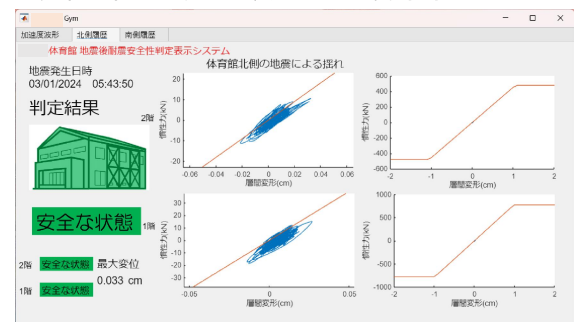
写真1 B体育館の地震計と被災状況判定表示システム（PC）の設置状況

図2に、この判定の表示例として、A体育館で2024年3月1日に実際に観測された地震記録によって計算し、判定、表示された画面を示す。(a)はPCの1ページ目の画面で、5箇所の地震計の加速度時刻歴と建物全体の判定結果が、表1の「結果の判定表示」に基づいて表示されている。(b)は、2ページ目で、北側のブレース構面の1、2層の慣性力-変形関係（左は拡大図）と北側構面の判定結果である。ここには掲載していないが、3ページ目は、同様に南側構面の結果が示されている。このよう

なPCの判定、表示により、建物管理者は、地震直後に体育館の耐震安全性を容易に確認することができる。



(a) 建物全体の判定と地震計の加速度時刻歴(1ページ目)



(b) 北側の判定と1、2層の慣性力-変形関係(2ページ目)

図2 A体育館の判定表示画面の例(2024/3/1の地震)

3) エネルギー法に基づく簡易な耐震安全性検証方法の検討

地震観測を行っているA、B体育館を対象として、告示のエネルギー法によって、極希地震時における応答計算を行なった。表2に最大層間変形角等の結果を示す。A体育館は、比較的応答変形が小さく、小破程度の被害にとどまることが予想される。

表2 エネルギー法による体育館の応答計算

建物名	層	最大層間変形角	塑性率	判定結果（被災度区分）
A体育館	2	1/282	1.41	Os ~ Is（軽微 ~ 小破）
	1	1/286	1.34	Os ~ Is（軽微 ~ 小破）
B体育館	2	1/108	3.40	Is ~ IIs（小破 ~ 中破）
	1	1/90	3.70	III s ~ Vs（中破 ~ 大破）

【参考文献】

- 1) 長谷川隆、森田高市、中川博人、坂下雅信：地震時における鉄骨造引張ブレース骨組の損傷評価に関する振動台実験 その1 実験計画と損傷経過、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ、pp.1241-1242、2023年9月
- 2) 森田高市、長谷川隆、中川博人、坂下雅信：地震時における鉄骨造引張ブレース骨組の損傷評価に関する振動台実験 その2 ターンバックルブレースの締め直しによる性能回復及び加速度の積分による応答変位の推定、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ、pp.1243-1244、2023年9月