

懸垂物フェールセーフ機構の非線形力学特性 を考慮した耐力評価試案

正会員

○小林 俊夫*

懸垂物 フェールセーフ Energy
耐力評価 非線形力学特性 加力実験

1. はじめに

地震時の構造的被害を防ぐために、耐震性能を持たせる対策が一般的であるが、耐震設計で想定した地震力を上回る地震力に対し、損傷が発生しても重大な事故に至らないようにフェールセーフ機構（以降 FS 機構と表記する）を備える対策も考えられる。

懸垂物の落下の安全性評価に関しては文献¹⁾で詳しく扱われているが、その適用範囲は懸垂物の重量が 100kg 以上とされ、また支持機構の力学特性が線形であることを前提とした評価式が使われている（文献¹⁾ (3.17)式）。

本報では懸垂物の落下に対する FS 機構の試作品に対して実施した実験結果に基づき、軽微な懸垂物も想定し、支持機構の力学特性の非線形性も考慮した耐力評価に関する試案を扱う。

2. FS 機構試作品の加力実験

加力前の試験体を写真 1 に示す。試験体はコスト削減のため市販品を組み合わせで作成し、実験実施上、上下逆転させて実施した。支持構造物に I ボルトを介して太さ 4mm のワイヤーを鉸め金具で輪にして取り付け、ボルトホルダーを用いて鉄板 ($t=1.0 \times 50 \times 400$) に接続し、WS65 を跨いで落下物モデルを模擬した加力部に対称形で接続した。

加力試験には株式会社島津製作所オートグラフ AGX-V2 を使用した。

試験経過としては（図 1 参照）、加力が小さい間は ($0 < x < 30\text{mm}$) 鉄板の曲げ剛性が小さいので加力も小さい状態で変形が進むが、変形の増大に伴って ($30\text{mm} < x < 60\text{mm}$) 鉄板が傾斜して面内引張軸力が増大し剛性が増加しつつ加力が増加する。さらに加力が増加すると落下物モデルの支持部(WS65)が写真 2 のように変形し、加力が増加しにくくなり変形のみが進む($60\text{mm} < x < 90\text{mm}$)。終局状態はボルトホルダーを鉄板に留め付けているビスが破損した（写真 3）。

3. Energy に基づく許容耐力評価

3.1 記号の定義（図 1、図 2 参照）

M : 落下物質量
g : 重力加速度
x : FS 機構の変形量

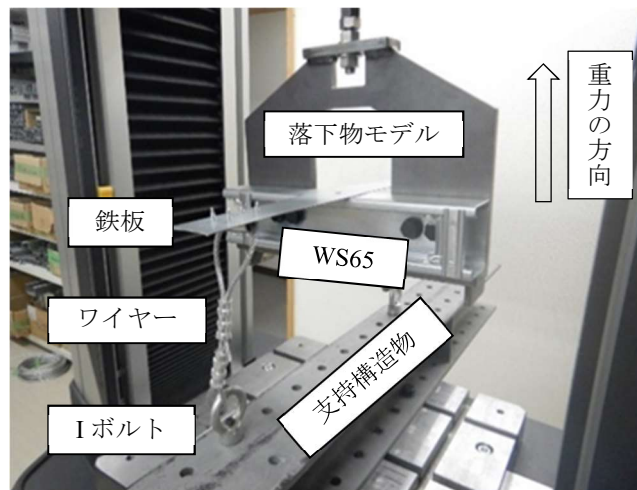


写真 1 加力前の試験体

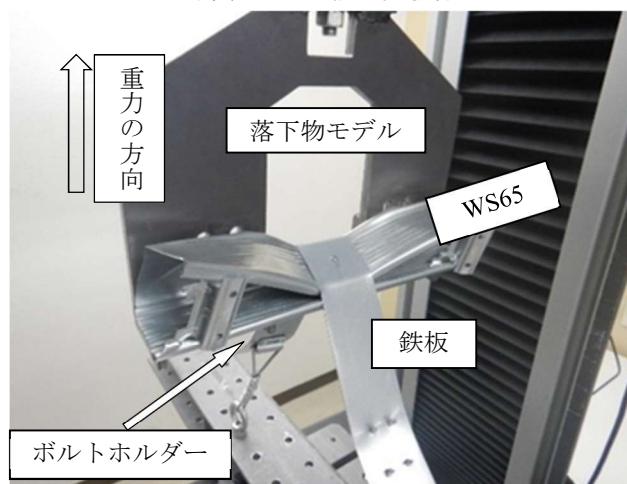


写真 2 落下物モデルの支持部の変形

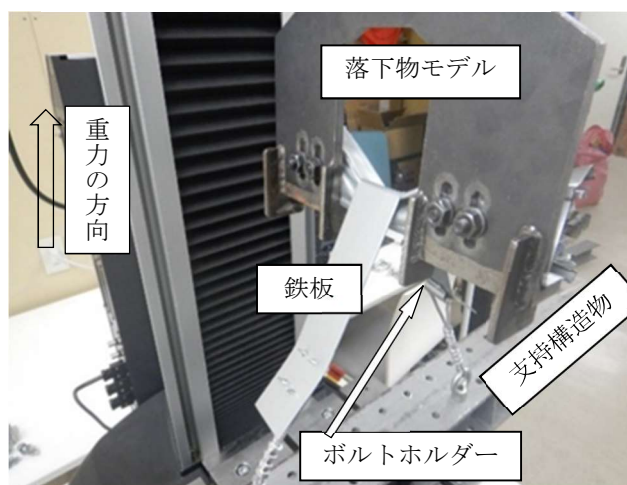


写真 3 終局状態

x_u : FS 機構の終局時変形量
 x_a : FS 機構の許容変形量
 H : FS 機構の初期遊び量
 $F(x)$: FS 機構に作用する荷重

$E_s(x)$: FS 機構の歪 Energy $E_s(x) = \int_0^x F(x)dx$ (1)

$E_p(x)$: 落下物の位置 Energy $E_p(x) = Mg(H+x)$

E_u : 終局時歪 Energy $E_u = E_s(x_u)$

E_a : 許容歪 Energy $E_a = E_s(x_a)$

S_E : Energy 安全率 $E_a = E_u/S_E = E_s(x_a)$

3.2 Energy に基づく耐力評価

Step-1 歪 Energy の算定

加力実験で得られた荷重変形関係 (図 1) に基づき、各変形 (x) までに FS 機構が吸収した歪 Energy $E_s(x)$ を (1) 式で算定すると図 2 のように求まる。この結果、終局時歪 Energy も $E_u = E_s(x_u)$ として求まる。

Step-2 Energy 安全率 S_E の設定 (注)

Energy 安全率 S_E を設定する。発注者 (安全管理責任者) と設計者が合議の上、施設の重要性や落下した場合の影響など多方面から総合的に判断し適切な値を設定する。

計算例では仮に $S_E = 3.0$ としている。

Step-3 許容歪 Energy の評価

許容歪 Energy が $E_a = E_u/S_E = E_s(x_a)$ として 図 2 のように求まる。この時、FS 機構の許容変形量 x_a も求まる。

Step-4 位置 Energy と歪 Energy の釣り合い (図 1)

落下物が $x = -30\text{mm}$ から許容変位 (x_a) まで重力場を落下することにより生ずる位置 Energy ($E_p(x_a)$) と、FS 機構が吸収する歪 Energy ($E_s(x_a)$) との釣り合いから

$$E_p(x_a) = E_s(x_a) \rightarrow Mg(H+x_a) = E_a \rightarrow Mg = E_a/(H+x_a)$$

として懸垂物の限界重量 Mg が求まる。

実際の懸垂物重量がこれ以下なら FS 機構に生ずる歪 Energy は許容 Energy 以下なので採用となる。逆にこれ以上ならより耐力が高い FS 機構に設計変更が必要となる。

4. まとめ

懸垂物の落下を防ぐ FS 機構の試作品に対する加力実験結果に対し、その非線形性を考慮して Energy に基づく耐力評価法を提案し計算例を示した。

今回対象とした試作品は今後もさらに改良が必要と思われるが、計算例の素材としてその実験結果を用いた。

懸垂物の本来の支持構造に対し後から FS 機構を設置する場合、その初期遊び量 (H) を 0 とすることは施工の実務上難しい。そのためには例えばターンバックルのような長さ調節機能を持った部品を採用する必要があるがコストアップになる。こうした状況を鑑み、本報の計算例では長さ調節部品は使わず $H = 30\text{mm}$ として扱った。

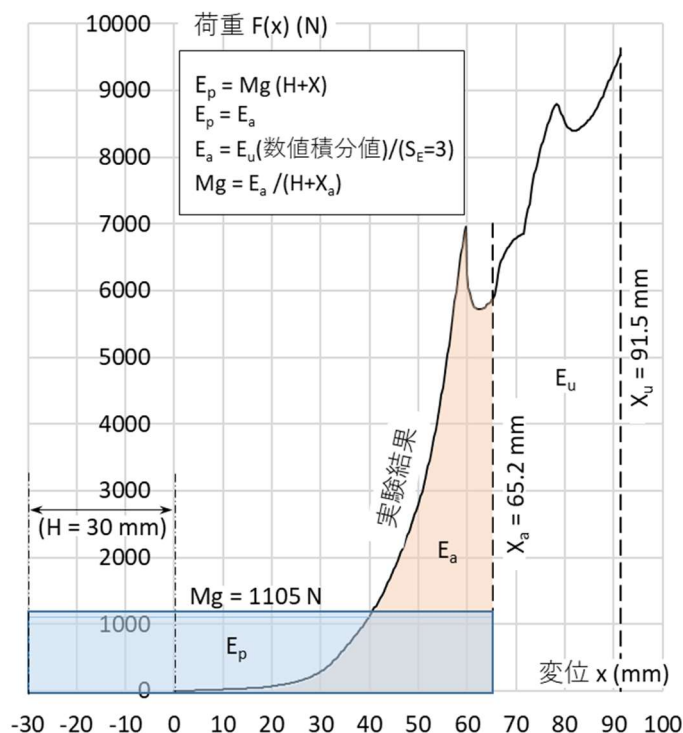


図 1 加力実験結果

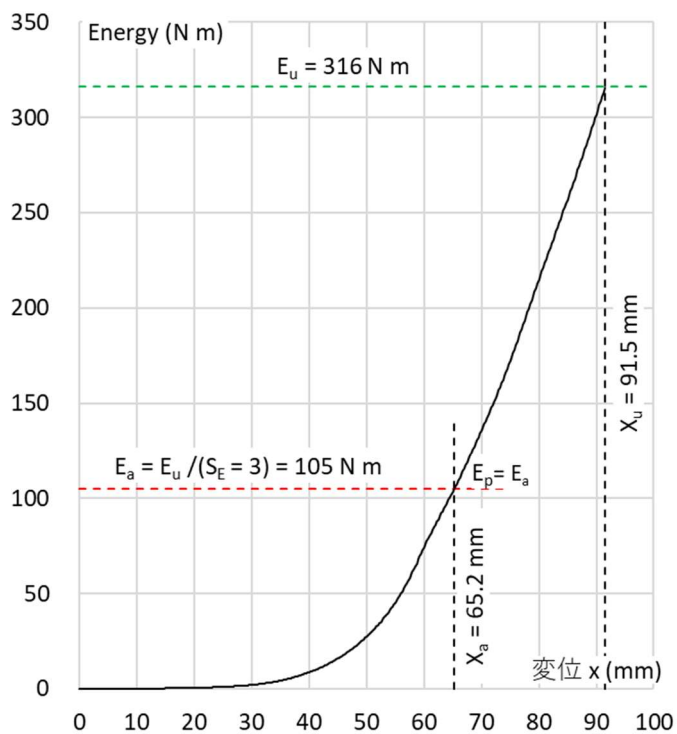


図 2 累積 Energy

(注) 文献¹⁾の安全率 (破断荷重/静荷重) と本報の安全率 (終局時歪 Energy / 許容歪 Energy) とは定義が異なる。

参考文献

1) 日本建築センター, 「懸垂物安全指針・同解説」 1990.