

第 I 部門

地震荷重に対する構造物の冗長性評価に関する研究

京都大学工学部 学生員 ○緒方 浩二
 京都大学大学院工学研究科 正会員 Charles Scawthorn
 京都大学大学院工学研究科 正会員 小野 祐輔

1. はじめに

構造物の耐震設計において、構造物の骨格や材料特性などを詳しく考えることにより、これまでに多数の冗長性指標が提案されてきた。本研究では倒壊のメカニズムという点に着目し、単純なトラス構造物を対象として倒壊解析を行うことにより、冗長性の変化に対する考察を行った。

2. 解析モデルと解析手法

図1、図2のようなトラス構造物群を設定し、比較検討を行う。構成材料は全て鉄を使用する。材料特性は、弾性係数 206GPa、降伏応力 255MPa とし、完全弾塑性モデルを仮定する。1区画において、構造物群1ではすじかいが1本、構造物群2ではすじかいが2本となっている。両図は2ベイ×2階の例であるが、他に、ベイ数を1～6、階数を1～20に変えての解析を行う。両構造物群とも柱、梁の断面積は 13cm^2 で同一であるが、すじかいの断面積は、構造物群1では 13cm^2 、構造物群2では 6.5cm^2 となっている。以上の仮定により、両構造物群で使用される材料の総量は等しい。

これらの構造物に、地震荷重を想定して三角形分布にした集中水平荷重を載荷し、push-over 解析を行う。解析を行う構造物の階数を N_s 、最上階の天井にかかる荷重を W とすると、 i 階の天井にかかる荷重 W_i は次式で表される。

$$W_i = \frac{i}{N_s} W \quad (1 \leq i \leq N_s) \quad (1)$$

図1、図2に荷重載荷の例を示す。

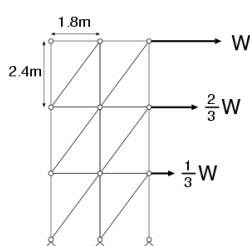


図1： 構造物群1

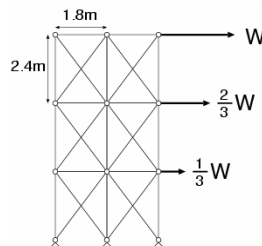


図2： 構造物群2

まず、確定論的評価法では、部材の降伏強度にばらつきがなく確定的であるものと仮定し、倒壊荷重と倒壊エネルギーを求める。また、本研究における冗長性指標を次式で定義する。

$$R_w = \frac{W_2}{W_1} \quad R_v = \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

W は倒壊時の全荷重、 V は倒壊時の全エネルギー、添字の1、2は構造物群1、2を表す。定義式はそれぞれ、荷重の比較、エネルギーの比較を表している。

次に確率論的評価法として、部材の降伏強度にばらつきがあると仮定し、降伏強度の変動係数を 0.1 と 0.2 に設定して解析を行う。降伏応力の分布には正規分布を用いる。モンテカルロ法により、1つの構造物

につき 5000 回の計算を行い、倒壊荷重、倒壊エネルギーの頻度分布、平均、変動係数を求める。

3. 解析結果と考察

確定論的評価法において、 R_w は図 3、 R_v は図 4 のような結果が得られた。また階数がある程度高くなると、倒壊メカニズムはほとんど変わらなくなる。具体的には、構造物群 1 においては、主に柱の降伏が先行して倒壊するモードが現れ、構造物群 2 においては、主に 1 階部分の柱やすじかいが降伏して倒壊するモードが現れる。図 3 によると、 R_w は全て 1 以上の値を示しているが、この原因は load-path の数の違いにある。両構造物群の 1 階部分に着目すると、構造物群 1 では、支点反力によって柱やすじかいの部材力が決まってしまうが、構造物群 2 では、それだけでは決まらない。つまり構造物群 2 ではすじかいが効果的に作用し、柱にかかる力をやわらげていると考えることができる。よって、構造物群 2 では、1 階部分の柱が降伏するのにより大きな外力が必要となり、 R_w は 1 以上になる。図 4 によると、 R_v は R_w に反して 1 より小さくなる箇所がある。 R_v が 1 より小さい箇所の構造物の倒壊メカニズムを調べると、構造物群 1 では、倒壊荷重に対して小さな外力で降伏している部材が目立つ。つまり完全弾塑性という仮定を設けたために、これらの部材は破壊することなく伸縮を続け、大きなエネルギーがたまる。そのために、 R_v が 1 より小さくなる箇所が現れる。

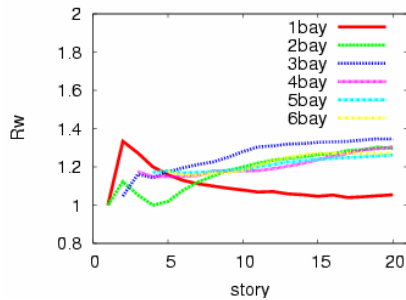


図 3： 倒壊荷重の比較

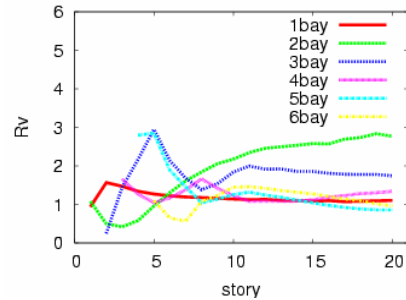


図 4： 倒壊エネルギーの比較

確率論的評価法において、倒壊荷重は、ほぼ正規分布に従う形の頻度分布図となり、その平均値は、確定論的評価法での倒壊荷重の値とほぼ同じであった。また、部材の降伏強度の変動係数が大きくなると、倒壊荷重の変動係数も大きくなる。倒壊エネルギーは、正規分布に従う形の頻度分布図にはならず、その平均値は、確定論的評価法での倒壊エネルギーの値と差が見られた。また、表 1 において、両構造物群の倒壊エネルギーの変動係数を比べてみると、どちらか一方だけが大きくなるというわけではない。これも完全弾塑性という仮定が関係している。確定論的評価法において倒壊時に大きな塑性率が見られる部材は、降伏強度が少し変動しただけでも、大きくエネルギーが変動するためである。つまり、ここでも倒壊メカニズムが重要であることが分かる。

表 1： 倒壊エネルギーの変動係数 (cov は部材の降伏強度の変動係数)

ベイ×階	2×3		3×5		4×5		4×8	
構造物群	1	2	1	2	1	2	1	2
cov=0.1	0.20	0.15	0.24	0.25	0.24	0.18	0.23	0.21
cov=0.2	0.38	0.33	0.37	0.45	0.46	0.47	0.37	0.33

4. まとめ

確定論的評価法、確率論的評価法、ともに構造物群 2 のほうが有利な構造物が多かったが、倒壊メカニズムの違いによっては構造物群 1 のほうが有利である構造物もあった。今後の課題としては、現実的な塑性率の設定、それに伴う倒壊メカニズムの変化の研究、変位制御での解析などが挙げられる。