

試設計による CES 造低層建築物の耐震性能に関する研究

日大生産工(院) ○甲地 哲也 日大生産工 藤本 利昭

1. はじめに

CES構造とは、Concrete Encased Steel構造の略で、鉄骨鉄筋コンクリート（Steel Reinforced Concrete；以下、SRC）構造の鉄筋コンクリート（Reinforced Concrete）部を繊維コンクリート(Fiber Reinforced concrete)と鉄骨のみで構成される合成構造である。

現在、日本建築学会では、「CES造建物の構造性能評価指針（仮称）」（以下、CES指針）の刊行を目標に、CES構造に関する研究が継続的に行われている¹⁾。CES指針では、耐震性能の評価手法として、限界耐力計算（応答スペクトル法）が用いられている。これまでのCES造建築物の試設計による検討²⁾では、高層建築物が対象とされていることから、本研究では、低層建築物へのCES造建築物の適用性を試設計により検討することとした。

本報告は、比較検討に用いたS造とCES造の建物の解析結果について報告する。

2. 建物概要

今回検討対象としたS造建築物は、文献3)に示された許容応力度計算によって設計された例題建物を基本とした。建物概要を表1～5に、伏図、軸組図を図1、2に示す。

文献3)に示された建物の梁断面 $R_{G1}(H500 \times 200 \times 10 \times 16)$ 、 $2G_1(H600 \times 200 \times 11 \times 17)$ を $R_{G1}(H488 \times 300 \times 11 \times 18)$ 、 $2G_1(H600 \times 200 \times 11 \times 17)$ に変更した。建物用途は事務室で、規模は地上2階建て、地盤は第1種地盤、構造概要は鉄骨構造の独立基礎である。今回、重心と剛心は図心にあるので、偏心率の検討は不要とした。設計方針は下記の1)～4)とした。

- 1) 本計算は、建築基準法および日本建築学会の基準・指針に準拠して行う。
- 2) 本建築物の算定に当たっては、X方向純ラーメン構造、Y方向ブレース構造として算定する。
- 3) 1階柱脚は固定とし、その固定度を確保するとともに、柱脚のモーメントは地中梁に負担させるものとする。

- 4) 基礎は独立基礎とし、柱の軸力のみを負担する。

表1 建物の概要

建築物用途	事務所
規模	地上2階建て
地盤	第1種地盤
構造概要	鉄骨構造、独立基礎

表2 柱・梁断面

柱名	断面	梁名	断面
2C ₁	H390×300×10×16	R _{G1}	H488×300×11×18
1C ₁		2G ₁	H588×300×12×20
2C ₂		R _{G2}	H300×150×5×9
1C ₂		2G ₂	H350×175×7×11

表3 地中梁断面

断面	400×800
主筋	3-D22
あばら筋	2-D13@250

表4 地震力一覧

階	W_i (kN)	ΣW_i (kN)	α_i	A_i	C_i	Q_i
2	1158.5	1158.5	0.446	1.296	0.259	300
1	1440.0	2598.5	1.000	1.000	0.200	520

表5 1次固有周期、剛性率、偏心率

	X方向	Y方向
1次固有周期(s)	0.243	
剛性率(2F)	0.99	0.93
偏心率		

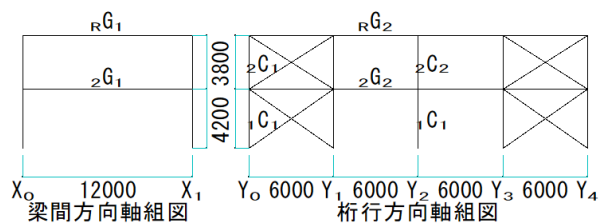


図1 軸組図

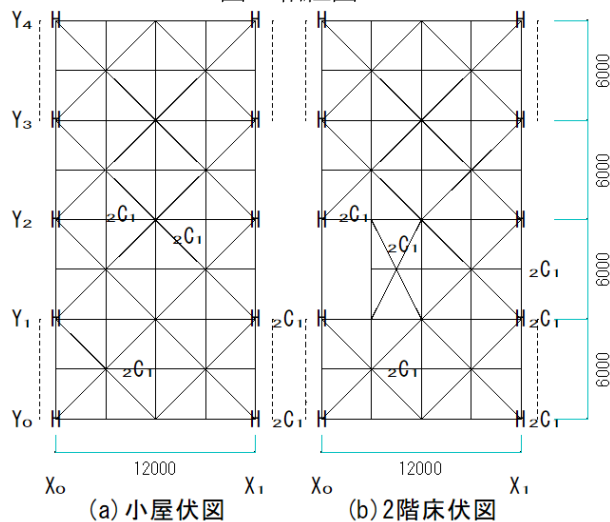


図2 伏図

3. 限界耐力計算の流れ

限界耐力計算は、多層建築物を単純な 1 自由度系にモデル化し、応答スペクトル法により各階の S_a - S_d スペクトルを算定する。損傷限界状態時と安全限界状態時の 2 種類の限界状態時における水平耐力が、各状態の S_a - S_d スペクトルを上回ることを検証した。限界耐力計算の設計方針は下記の 1)~5)とした。

- 1) 本計算は、建築基準法および日本建築学会の基準・指針に準拠して行う。
- 2) 各部材の断面寸法は 1 次設計(許容応力度計算)で定めた値を利用する。
- 3) 今回限界耐力計算において耐震性能評価を行うための荷重増分解析と、その妥当性を検証するための損傷限界状態、安全限界状態を確認する。
- 4) 損傷限界状態は 1 次設計における柱・梁ならびにブレース材のいずれかが初めて許容応力度に達するときのものとする。
- 5) 安全限界状態は 2 次設計における崩壊メカニズムすなわち保有水平耐力時(層間変形角が $1/75$ に達した時点)に相当するものとする。

4. 計算結果

4.1 保有水平耐力の結果

荷重増分解析による結果を図3に示す。上図がX方向、下図がY方向である。

純ラーメンとしたX方向は、各層の水平剛性がほぼ等しくなっているが、ブレース付きラーメンのY方向は、各階の水平剛性が大きく異なっている。

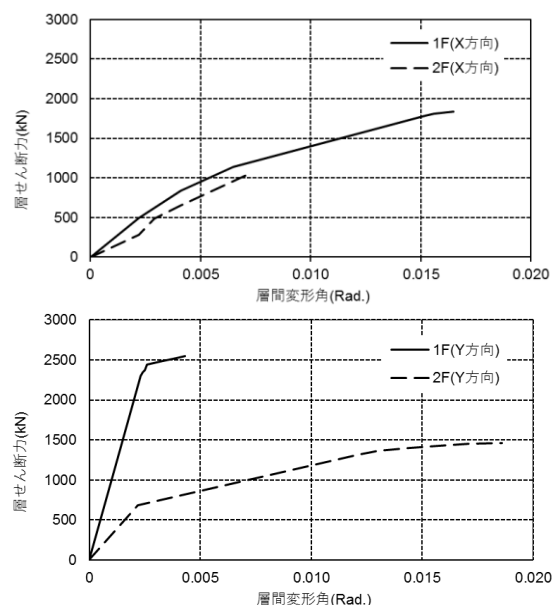


図3 荷重増分解析

4.2 損傷限界時

本試設計では、柱・梁ならびにブレース材のいずれかが初めて許容応力度に達するときを建築物の損傷限界状態と定義した。図4に損傷限界時の S_a - S_d スペクトルに、1自由度系に縮約した本建物の損傷限界までの $Q-\Delta$ 曲線をプロットして示す。

図より、損傷限界に対してはX, Y両方向ともに要求性能を大きく上回り、余裕のある建物といえる。

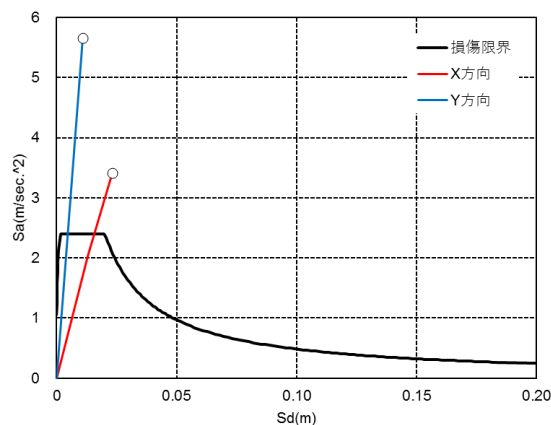


図4 損傷限界に対する検討

4.3 安全限界時

建築物の安全限界状態は、限界耐力計算に準じて各階の層間変形角が $1/75$ に達した時点と定義した。安全限界時の S_a — S_d スペクトルに、1自由度系に縮約した本建物の Q — Δ 曲線をプロットして示す。図中のX、Y各方向のスペクトルは、塑性率による応答低減率を考慮したものである。

ブレース付きラーメンであるY方向は、安全限界時のスペクトルを上回っているが、純ラーメンのX方向は、スペクトルを下回り安全限界時の性能を満足していないことがわかる。

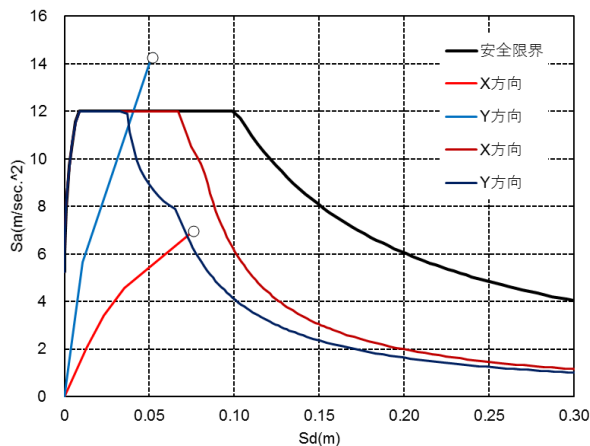


図5 安全限界に対する検討

5 CES造解析概要

本研究では、提案されているCES構造の耐震性能評価法⁵⁾の適用性を確認することを主な目的とする。はじめにS造をCES造にした試設計建物モデルを作成し、耐震性能評価で用いられる荷重増分解析と、その妥当性を検証するための限界耐力計算を行う。損傷限界状態、安全限界状態による応答値の比較を行うことで、その妥当性を確認する。今回S造のY方向は、安全限界時のスペクトルを上回っているが、X方向は、スペクトルを下回り安全限界時の性能を満たしていないことから、X方向についてのみ検討した。

解析モデルには、柱の主筋量を可能な限り少なくしたSRC断面として部材を設定することによって、汎用の構造解析プログラムを用いて解析を実施した。なお柱以外の部材の設計方針についてはS造と同じのものとした。

6 CES造の建物概要

今回検討対象とした建物は、2章に示した許容応力度によって設計された例題建物の柱H390×300×10×16にコンクリート100mmを被覆したものである。CES造の建物概要を表

6～8に示した。柱をCES造に変更したことにより建物の重量が変わり、一次固有周期はSRC造として検討するため、 $T=0.02h$ から算出した。剛心と偏心については、いずれも図心にあるので、検討しないものとした。

表6 地震力一覧

階	W_i (kN)	ΣW_i (kN)	α_i	A_i	C_i	Q_i
2	1244	1244	0.443	1.241	0.248	309
1	1629	2873	1.000	1.000	0.200	575

表7 柱断面

柱名	断面	
	B×D	鉄骨
2C ₁	490×400	H390×300×10×16
1C ₁		
2C ₂		
1C ₂		

表8 1次固有周期、剛性率、偏心率

	X方向	Y方向
1次固有周期(s)	0.166	
剛性率(2F)	1.074	0.735
偏心率		

7 CES造の計算結果

7.1 保有水平耐力の結果

CES造のX方向の荷重増分解析による結果を図6に示す。

純ラーメンとしたX方向は、S造と同様各層の水平剛性がほぼ等しくなっている

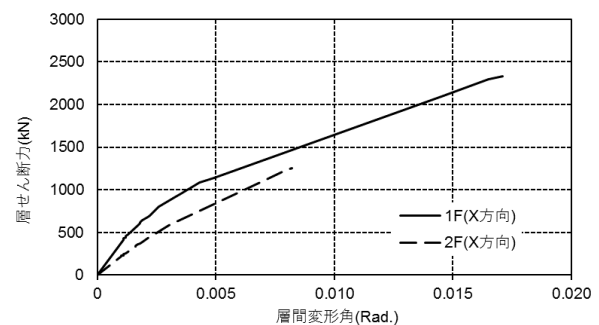


図6 荷重増分解析

7.2 損傷限界時

柱・梁のいずれかが初めて許容応力度に達するとき、すなわちいずれかの部材が初めて曲げ降伏状態に達した時を建築物の損傷限界状態と定義した。図7に損傷限界時の S_a — S_d スペクトルに、1自由度系に縮約した本建物の損傷限

界までの $Q-\Delta$ 曲線をプロットして示す。図より、損傷限界に対してはX、Y両方向ともに要求性能を大きく上回り、余裕のある建物といえる。

図8は損傷限界時の Y_0 通りのヒンジ図である。□部分は曲げひび割れ状態、○部分は曲げ降伏状態を示す。S造、CES造いずれも地中梁が初めて曲げ降伏することが分かる。

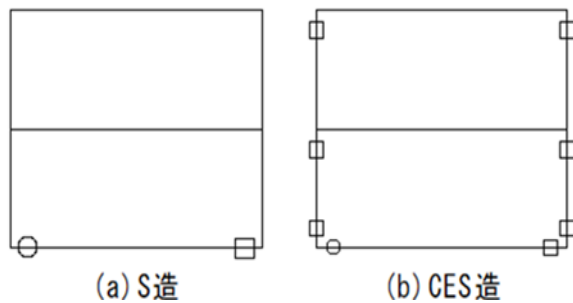


図8 損傷限界時のヒンジ図

7.3 安全限界時

建築物の安全限界状態は、限界耐力計算に準じて各階の層間変形角が $1/75$ に達した時点と定義した。安全限界時の S_a-S_d スペクトルに、1自由度系に縮約した本建物の $Q-\Delta$ 曲線をプロットして示す。図中のX方向のスペクトルは、塑性率による応答低減率を考慮したものである。図7から、X方向の安全限界時の性能を満たしており、余裕のある建物といえる。このことから柱をS造からCES造にすることにより、建物の耐力が上がったと考えられる。

図9は安全限界時の Y_0 通りのヒンジ図である。S造、CES造いずれも地中梁、1階の柱頭にヒンジが形成され、部分崩壊メカニズムとなっていることが分かる。

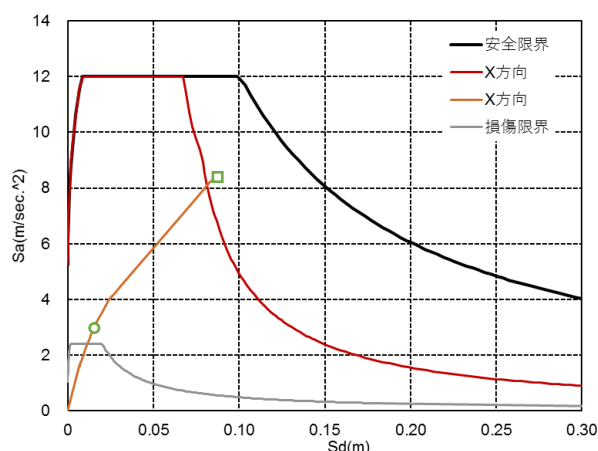


図7 損傷限界、安全限界状態に対する検討

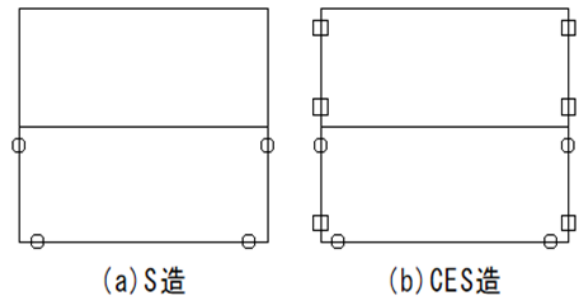


図9 安全限界時のヒンジ図

8 まとめ

低層建築物へのCES造の適用性を検討するための、試設計モデル概要とCES造モデルについて報告した。得られた知見を以下に示す。

- 1) S造とCES造の損傷限界状態は、いずれも地中梁に初めてヒンジが出来るため応答スペクトルの値はほぼ同じであることが分かった。
- 2) 安全限界状態では層間変形角が $1/75$ に達した時、1階柱頭と地中梁にヒンジが出来る部分崩壊メカニズムとなっていることが分かった。
- 3) 鉄骨造の原設計では、限界耐力計算による要求性能を満足しない建物であったが、柱をCES造にすることにより限界耐力計算による要求性能を満たすことが分かった。これはS造の柱にコンクリート100mmを被覆したことにより耐力と剛性が高くなったためだと考えられる。

これらの結果を踏まえて今後は、柱、梁断面を小さくし、合理的に設計していく予定である。

参考文献

- 1) 倉本洋：特集／多様化するハイブリット構造の現状と今後の展開／4. 新技術の展開 建築分野・鉄骨コンクリート(CES)構造，コンクリート工学，Vol.52，No.1，pp.115-120，2014.1
- 2) 井上翔，秋田知芳，稲井栄一：試設計建物を用いたCES構造性能評価法の適用性に関する研究，日本建築学会中国支部研究報告集，pp.249-252，2015.3
- 3) 〈建築のテキスト〉編集委員会：初めての建築構造設計，学芸出版社，p46，2001
- 4) 勅使川原正臣，前田匡樹，椋山健二，楠浩一，真田靖士，日比野陽：ひとりで学べる RC造建築物の構造計算演習帳 限界耐力計算編，日本建築センター，p47，2015
- 5) 日本建築学会ほか：2013年度日本建築学会大会(北海道)構造部門(SCCS)PD資料「CES造建築物の構造性能評価指針(案)の制定に向けて」，67pp，2013.8