

I-565 スティブ・サイロ壁体構造の履歴復元力モデルと地震応答解析

北海道大学工学部 正会員 佐々木 康彦
 建設省 正会員 中込 淳
 北海道大学工学部 正会員 芳村 仁

1. まえがき

スティブ・サイロの地震時挙動に関する解析的な研究を目的として、スティブ・サイロ要素と名付けた新しい動的解析モデルおよび壁体構造の不連続性を考慮した構造剛性評価法の開発を行ってきた¹⁾。

本研究ではさらに、「スティブ・サイロの壁体構造は入力加速度レベルの増大に伴って顕著な履歴応答性状を示す」という模型実験結果に着目し²⁾、履歴復元力特性と構造剛性の低減率とを関連付けた復元力モデルによるスティブ・サイロの非線形な地震応答解析を試みた。

2. スティブ・サイロ壁体構造の動的解析モデルの概要

スティブ、フープ、スティブ継目というスティブ・サイロ壁体構造の主要な構成要素をそれぞれ剛体、半径方向相対変位に抵抗するフープバネ、剛体間に配置した分布バネ・集中バネでモデル化し、サイロ壁体構造全体をこれら三種類の基本解析モデルで構成される円筒状の“剛体-剛体間バネ-フープバネ”系(円筒状RSH系)とする。さらに、この円筒状RSH系モデルから2つの水平面で切断して取出した構造要素をスティブ・サイロ要素と呼び、図1に示すような4個の変位・回転成分を節線変位とする¹⁾。

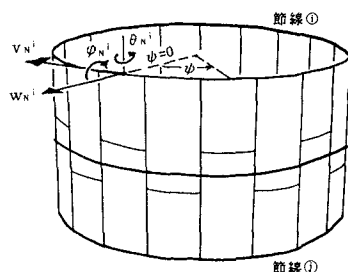


図1 スティブ・サイロ要素および節線変位

3. 履歴復元力特性の解析モデル化と構造剛性の低減率

3.1 履歴復元力特性をもつ構造系の運動方程式

一般に、非線形な復元力特性をもつ多自由度構造系に地震動が作用する場合の運動方程式は、

$$[M_N] \{\ddot{\delta}_N\} + [C_N] \{\dot{\delta}_N\} + \{R_N(\delta)\} = \{Q_o(t)\} \quad (1)$$

ここで、 $[M_N]$ & $[C_N]$: 構造質量および粘性減衰マトリックス、 $\{R_N(\delta)\}$: 相対変位ベクトル $\{\delta_N\}$ の関数である非線形復元力特性、 $\{Q_o(t)\}$: 地震動に基づく有効外力ベクトルを表わす。

非線形構造系の応答解析に際して、微小な時間間隔 Δt に対する増分形式の運動方程式を(1)式から誘導し、さらに非線形復元力項の増分を相対変位の関数である構造接線剛性と相対変位の増分との積で近似すると、次式のような線形化した増分形式の運動方程式を得る。

$$[M_N] \Delta \{\ddot{\delta}_N\} + [C_N] \Delta \{\dot{\delta}_N\} + [K_N(\delta)] \Delta \{\delta_N\} = \Delta \{Q_o(t)\} \quad (2)$$

3.2 履歴復元力特性の解析モデル化

スティブ・サイロ壁体構造の履歴復元力特性の解析モデル化として修正Jennings系の履歴特性を採用した³⁾。図2に示す修正Jennings系の上界・下界曲線および骨格曲線の方程式は、

上下界曲線: $(\mu - \mu_0) / 2 =$

$$\{(q - q_0) / 2 + \alpha \{[(q - q_0) / 2]^2\}^{1/2}\} / (1 + \alpha) \quad (3)$$

骨格曲線: $\mu = \{q + \alpha q^2\}^{1/2} / (1 + \alpha) \quad (4)$

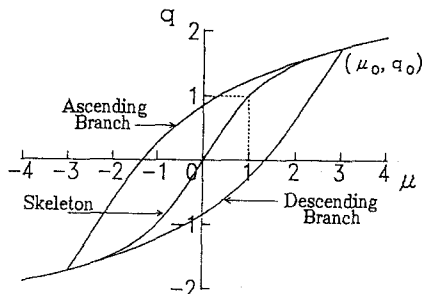


図2 修正Jennings系の履歴特性

ここで、 μ 、 q はそれぞれ降伏変位、降伏力で無次元化した相対変位および復元力、 (μ_0, q_0) は相対速度

の変換点での符号付き座標値、そして r および α がこの系のパラメタであり、それぞれ奇数の正定数および正定数をとる。

3.3 構造剛性の低減率とその算定法

始めに、解析すべきステイブ・サイロと同一材料・同一寸法の連続体である円筒殻を考え、その円筒殻と等価なバネ剛性定数によって計算される構造剛性マトリックス $[K_s]$ をひとつの基準構造剛性とする。次に、ステイブ・サイロ壁体構造におけるステイブ継目の存在に起因する剛性低下特性およびその履歴特性を表現するために、“構造剛性の低減率 λ ” を導入し、ここでは着目点(模型頂部)での相対変位 δ_T の関数 $\lambda = \lambda(\delta_T)$ とする。このような低減率 $\lambda(\delta_T)$ を用いて、多自由度構造系に関する前節(2)式中の構造接線剛性マトリックスを次式のように定義する。なお、フープバネによる構造剛性マトリックスは $[K_H]$ で表わす。

$$[K_N(\delta)] = \{\lambda(\delta_T) \cdot [K_s] + [K_H]\} \quad (5)$$

さらには、その運動方程式(2)の逐次数値積分によって計算される着目点(模型頂部)での応答性状を、(3)式および(4)式の曲線で表示される1自由度系の修正Jennings系履歴特性として制御していく。また、その履歴制御過程において、(5)式における低減率は次式により算定する。

$$\lambda(\delta_T) \equiv k/k_{eq}; \quad k = \Delta q / \Delta \mu \quad (6)$$

ここで、 Δq および $\Delta \mu$ は、時間間隔 Δt における修正Jennings系の無次元化復元力・相対変位の増分、 k_{eq} は前述の円筒殻と等価な剛性定数を表わす。

4. 縮尺1/8模型用ステイブ・サイロの地震応答解析

数値解析モデルとして、縮尺1/8模型用ステイブ・サイロ(直径0.8m、高さ2.0m)を用いた。この模型用サイロは円周方向50個、高さ方向13段の模型用ステイブと32組のフープで構成されている²⁾。この地震応答解析では、修正Jennings系のパラメタ値を $r=5$ 、 $\alpha=0.10$ 、また増分形式の運動方程式の数値積分は Newmark の β 法により、時間間隔を $\Delta t=0.001$ 秒として計算を行なった。

図3は最大入力加速度レベル1.06gに対する模型頂部での応答加速度の時刻歴波形を、(a)模型実験結果と(b)数値解析結果とで比較したものである。なお、参考までに低減率 $\lambda=0.028$ (一定)とした線形応答解析結果も(c)に示す。同図から、前章で述べた履歴復元力モデルによる非線形応答解析結果は模型実験結果の応答性状を非常に良く再現できており(最大応答値の相対誤差1.3%)、履歴特性と構造剛性の低減率とを関連付けた復元力特性のモデル化の妥当性が明らかになった。

IV. TABLE ACC, 1,034 gal(1.06 g)

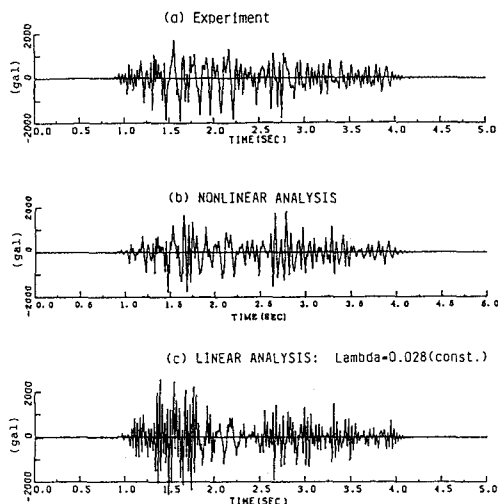


図3 模型頂部での応答加速度波形の比較

参考文献

- 1) 佐々木康彦、芳村 仁：コンクリートステイブサイロの構造不連続性を考慮した動的解析モデルと地震応答解析、構造工学論文集、Vol.37A, pp.883-892、1991。
- 2) 佐々木康彦、芳村 仁：コンクリートステイブサイロの地震応答特性と不連続構造の影響に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.36A, pp.803-812、1990。
- 3) 後藤尚男、家村浩和：強震時における1自由度系の塑性変形に関する考察、土木学会論文報告集、第184号、PP.57-67、1970。