

徳大林組技術研究所

鳥井原 誠

平 間 邦 興

1. まえがき

現在、土の応力～ひずみ関係の非線型性を考慮した地震応答解析法には、大きく分けて、等価線型化法と逐次積分法の2通りがある。等価線型化法に必要な地盤の情報は、せん断剛性率(G)～ひずみ(γ)関係と、減衰定数(h)～ひずみ関係であり、逐次積分法に必要な情報は、応力～ひずみ関係の力学モデルである。この力学モデルの一つとして、国生¹⁾らの提案した修正 Hardin-Drnevich モデルがある。しかし、このモデルには、ひずみが大きくなると h が大きくなりすぎるという不自然さが指摘されている。そこで、今回、沖積粘性土の不カク乱試料を用いた動的中空ねじりせん断試験を実施し、得られた履歴曲線をもとにそのモデル化について検討を加えた。

2. 試 料

使用した試料は埼玉県三郷市で、シンウォールサンブラーを用いて採取した沖積粘性土であり、その物理的性質を表-1に示す。

表-1 試料の物理的性質

粒 度			比 重	コンシステンシー		
砂	シルト	粘土		LL	PL	PI
18	48	34	2.72	45.5	21.3	24.2

3. 試験方法

試験はすべてCU条件で応力制御のステージテストであり、拘束圧は平均有効土被り圧を採用した。振動数は0.5 Hz、一段階の载荷回数10波である。データ処理としてはデータレコーダーおよびパソコンを使用している。

4. 結果および考察

図-1, 2は今回の試験で得られた G , h と r の関係を示したものである。図中の実線はHardin-Drnevich²⁾モデルを適用して求めたものであるが、試験結果との対応は非常に良いようである。同図には、参考のため共振法ねじり振動試験の結果も併せて示している。

図-3はHardin-Drnevichが提案した式-(1)で示される骨格曲線と各ひずみレベルでの試験結果を併せて示したものである。

$$\tau = G_0 \gamma / (1 + |\gamma / \gamma_r|) \quad (1)$$

G_0 : 微小ひずみ時の G , γ_r : 規準ひずみ

図中の履歴曲線の頂点は、ほぼ骨格曲線上を移動していることが明らかである。このことは、等価線型化モデルである図-1の $G \sim \gamma$ の試験結果とHardin-Drnevich曲線が良い一致を示していることと同じ意味である。

本来、Hardin-Drnevichモデルは、履歴曲線を求めるために提案されたモデルではないが、国生¹⁾らは履歴曲線を求めるために式-(2)に示す修正Hardin-Drnevichモデルを提案している。

$$\tau = \tau^* + G_0 (r - r^*) / (1 + |r - r^*| / 2 \gamma_r) \quad (2)$$

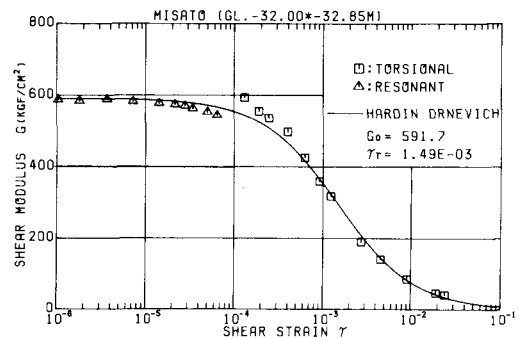


図-1 G と r の関係

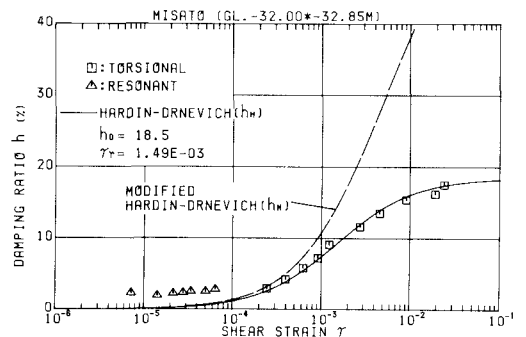


図-2 h と r の関係

(r^* , τ^*): 履歴曲線の頂点の座標

図-4は、比較的大きなひずみ振巾における実測履歴曲線を実線で、修正 Hardin-Drnevich モデルによる履歴曲線を点線で示したものである。実測値と比較して計算曲線が大きく膨らんでいることがあきらかである。

図-5は、図-3で示した実測履歴曲線と同じひずみ振巾における計算曲線を示したものである。このような計算曲線から得られる h と r の関係を示したのが図-2の破線 (h_M) である。この曲線は r が小さいうちは実測値との差はあまりないが、 r が大きくなるにつれて、極端に過大な値を与えるようになっている。この点が修正 Hardin-Drnevich モデルの欠点である。

そこで、修正 Hardin-Drnevich モデルに図-6で示す補正をおこなって新しいモデルを考えてみる。この時も、履歴曲線の頂点は骨格曲線上を通るということを前提とする。図中のB点は、その時のひずみ振巾における図-2の2つの計算曲線上の h の値 (h_M , h_H) を用いて式-(3)より求める。

$$\overline{BC} = \overline{AC} \cdot h_H / h_M \quad (3)$$

こういった補正を1周期にわたっておこなうと、補正後の履歴曲線が図-6のように得られる。この補正法によれば、補正後の履歴曲線から求まる h は、図-2の Hardin-Drnevich 曲線上の値と等しくなっている。

図-7は、図-4と同じ実測履歴曲線と補正後の履歴曲線を比較したものである。両者は非常に良く合っており、この補正法が履歴曲線のモデル化手法として有効であることを示している。

図-8は、図-3で示した実測履歴曲線と同じひずみ振巾における補正後の計算曲線を示したものである。図-5の修正 Hardin-Drnevich モデルの場合と比較して、実測値との対応が非常にいいことが明らかである。ただし、このモデルでは、今まで一般的に用いられてきた Masing の法則と乗り移り法則が成り立たなくなるので、ランダム波の解析のためには、何か別の法則が必要となるであろう。この点については今後の検討課題としたい。

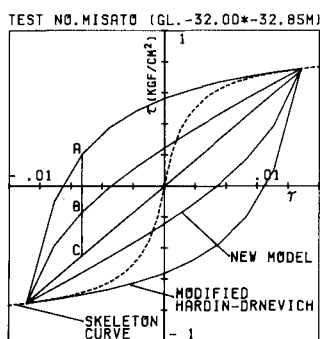


図-6 履歴曲線の補正

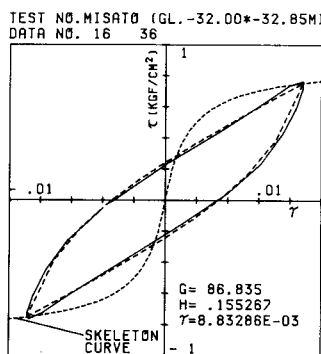


図-7 履歴曲線 (補正後)

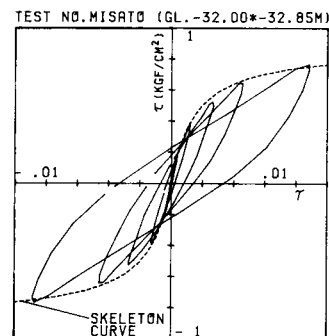


図-3 実測履歴曲線

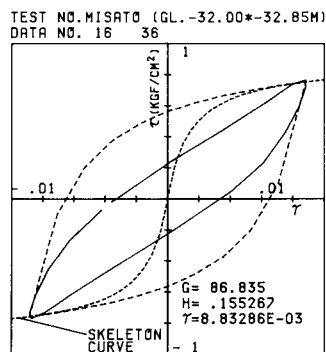


図-4 履歴曲線 (修正 H-D)

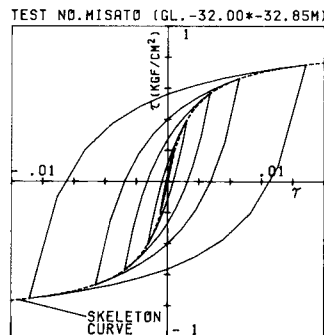


図-5 履歴曲線 (修正 H-D)

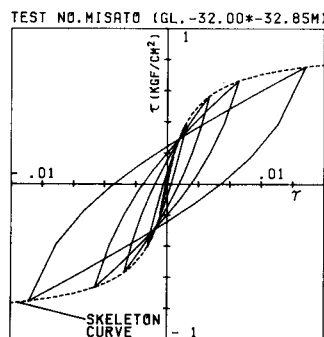


図-8 履歴曲線 (補正後)

- <参考文献> 1) 国生、桜井; 「Modified Hardin-Drnevich モデルについて」第33回土木学会 (1978)
2) 鳥井原、平間: 「飽和粘性土の剛性率と減衰定数のひずみ依存性について」第36回土木学会 (1981)