

I-A 64 Duffing 型応力-ひずみ関係を有する材料に関する研究

日本大学 学生員 ○土井 和彦
 日本大学 正 員 澤野 利章
 日本大学 正 員 木田 哲量
 日本大学 正 員 能町 純雄

1. はじめに

非線形材料に関してはより実際の挙動に近い応力-ひずみ関係となる非線形解析を行う必要がある。モルタルはこれまでの材料実験から圧縮に対しては、Duffing 型応力-ひずみ関係を呈する非線形材料であると検証されている^{1) 2)}。本研究では曲げ引張に対してもこの関係の適用を考察する。そこで、モルタルと近年補強材として注目されている鋼繊維を混入したモルタルを供試体とし、曲げ強度実験を行い、引張縁モルタルの応力-ひずみ関係のDuffing 型応力-ひずみ関係との適合性を明らかにする。

2. Duffing 型応力-ひずみ関係

構造部材の解析や設計を行う上では、その応力-ひずみ関係をモデル化し、数式的に表現する必要がある。そこで、非線形部材からなる構造物に生ずるひずみ ε と、これに対応する復元応力 σ の基本関係式を連続関数として表すと、 $\sigma=f(\varepsilon)$ と表現できる。ここで、ひずみ ε は微小なものであるので、関係式をマクローリン展開し、構成材料の初期接線弾性係数を E 、最大応力発生時のひずみ ε_0 をパラメータとして整理すると、式(1)が得られる。

$$\sigma = E \left[\varepsilon - \frac{\varepsilon^3}{3\varepsilon_0^2} \right] \quad (1)$$

なお、式(1)はDuffing の振動方程式の復元力の関係と同様に3次の奇数べきで表されることから、Duffing 型応力-ひずみ関係と称している。

3. 材料試験

3-1. 供試体

モルタル供試体はJIS A 1132による方法で作製した。モルタルの配合は質量比で普通ポルトランドセメント：標準砂＝1:2、 $W/C=0.55$ 、養生日数28日（霧室中24時間、水中27日）鋼繊維混入供試体は幅40mm×高さ32mm×長さ160mmの角柱を用いた。高さは、JIS A 1132によると断面が正方形でなければならないが、予備実験より鋼繊維を混入させると曲げ強度が増加し、せん断破壊をするため、曲げ破壊を生じさせるために部材高さを低くした。鋼繊維混入率 $V_f=1\%$ （鋼繊維は（株）リヂン製Dramix ZC-60を使用）として作製した。養生終了後の供試体に十分表面処理を施した上で、供試体下面の中央に単軸ひずみゲージを接着する。

3-2. 曲げ試験装置

荷重載荷は図-1に示すようなクロスヘッド移動速度一定のもので、載荷容量5tfの引張圧縮万能試験機にて変位制御で行った。実験は3等分点2点載荷装置を用い、鉛直にかつ偏心のないように載荷した。

3-3. 試験方法

①供試体に衝撃を与えることなく変位が一定になるように載荷し、クロスヘッド移動速度は0.07mm/minと

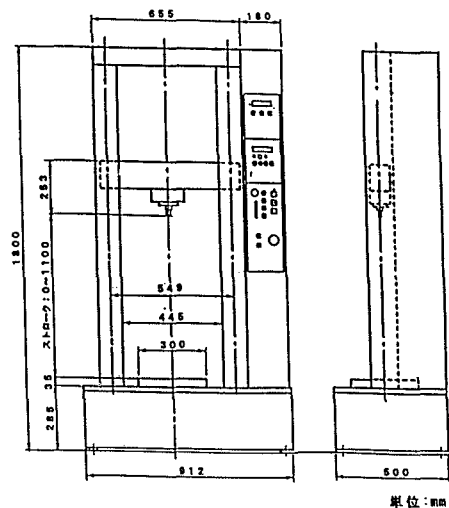


図-1 引張圧縮万能試験機

なるように調節する。

②下面のゲージが切れるまで荷重・変位およびひずみを計測する。計測は前記の単軸ひずみゲージ PL-60-11(東京測器研究所製)から、静ひずみ測定器 TDS-301(東京測器研究所製)にて計測する。

③測定結果より、部材幅 b 、高さ h 、全荷重 P 、支間 S として曲げ引張応力 σ を式 (2) より求めた。

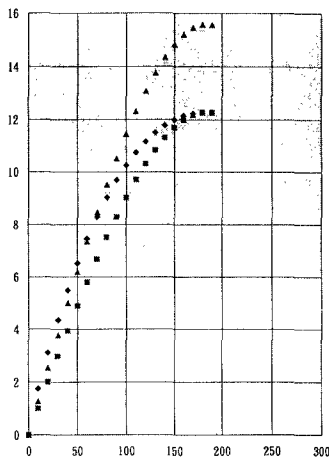
$$\sigma = \frac{P S}{b h^2} \quad (2)$$

求められた応力を縦軸、載荷荷重に対する引張ひずみ値を横軸にプロットし、応力ひずみ曲線を描く。次に、測定値を4自由度の多項式による最小二乗法によって整理して得られた曲線を実験値とする。

4. 結果および考察

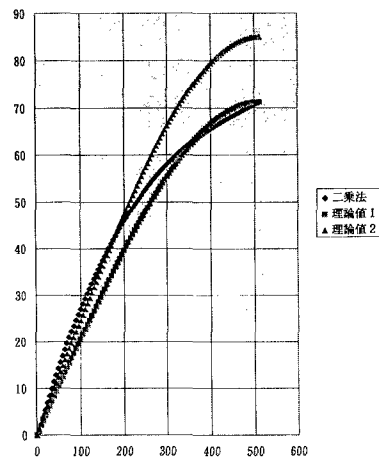
本実験では、モルタルと鋼繊維を混入したモルタル梁の曲げ破壊試験から、下縁の引張応力とひずみ関係の Duffing 型応力-ひずみ関係との適合性を考察する。本実験においては引張縁のひずみゲージの切断と同時に計測を終了することとし、切断した時のひずみを Duffing 型応力-ひずみ関係のパラメータである最大応力発生時のひずみ ε_0 とし、そのときの応力を最大応力として図-2、3に示した。

両図ともにわずかな誤差はあるものの十分適合していると言える。図-2はモルタルの引張縁における応力-ひずみ関係である。モルタルではひび割れが発生し、ひずみゲージが切断した後は荷重を受け持たなくなる。図-3は鋼繊維を混入させたモルタルの応力-ひずみ関係を示す。この場合は、ひび割れが発生してひずみゲージが切断した後も荷重が増加する傾向を示している。理論値1は最大ひずみと最大応力より仮の E を算出して描いたものであり、理論値2は最大ひずみと初期接線弾性係数より描いたものである。理論値1と理論値2を比較すると理論値1は初期部分は適合していないが頂点部で一致しており、理論値2では初期部分で適合しているが頂点部で一致なくなっている。全体的には理論値1のほうが実験結果を良く近似している。鋼繊維を混入させた方が弾性係数、最大応力発生時のひずみともに2倍以上になっており、ゲージ切断以降の応力増加を予想した場合、より適合の可能性が考えられる。今後は、圧裂引張も行い、養生日数や水セメント比を変えることにより Duffing 型応力-ひずみ関係式への適合性を検討していくものである。



$$E1 = 100096 (\text{kgf/cm}^2) \quad E2 = 12696 (\text{kgf/cm}^2) \\ \varepsilon_0 = 1.84 \times 10^2 (\mu)$$

図-2 モルタルの応力-ひずみ関係



$$E1 = 20867 (\text{kgf/cm}^2) \quad E2 = 26922 (\text{kgf/cm}^2) \\ \varepsilon_0 = 5.15 \times 10^2 (\mu)$$

図-3 鋼繊維混入モルタルの応力-ひずみ関係

参考文献：1) 近藤 崇: Duffing 型応力-ひずみ関係を有する材料に関する研究(その4) 平成6年第27回日本大学生産工学部学術講演会要集P. P17~20

2) 山崎 紀: Duffing 型応力-ひずみ関係を有する材料に関する研究(その5) 平成6年第27回日本大学生産工学部学術講演会要集P. P21~24