1. 想定する設計法

前述の設計法、特性値の状況を鑑みて、本設計用データベースは、平成 24 年度伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会報告書で提案された「汎用設計法」において時刻歴応答解析または限界耐力計算を用いて構造設計を行うことを前提に構造要素のデータベース化を行う。

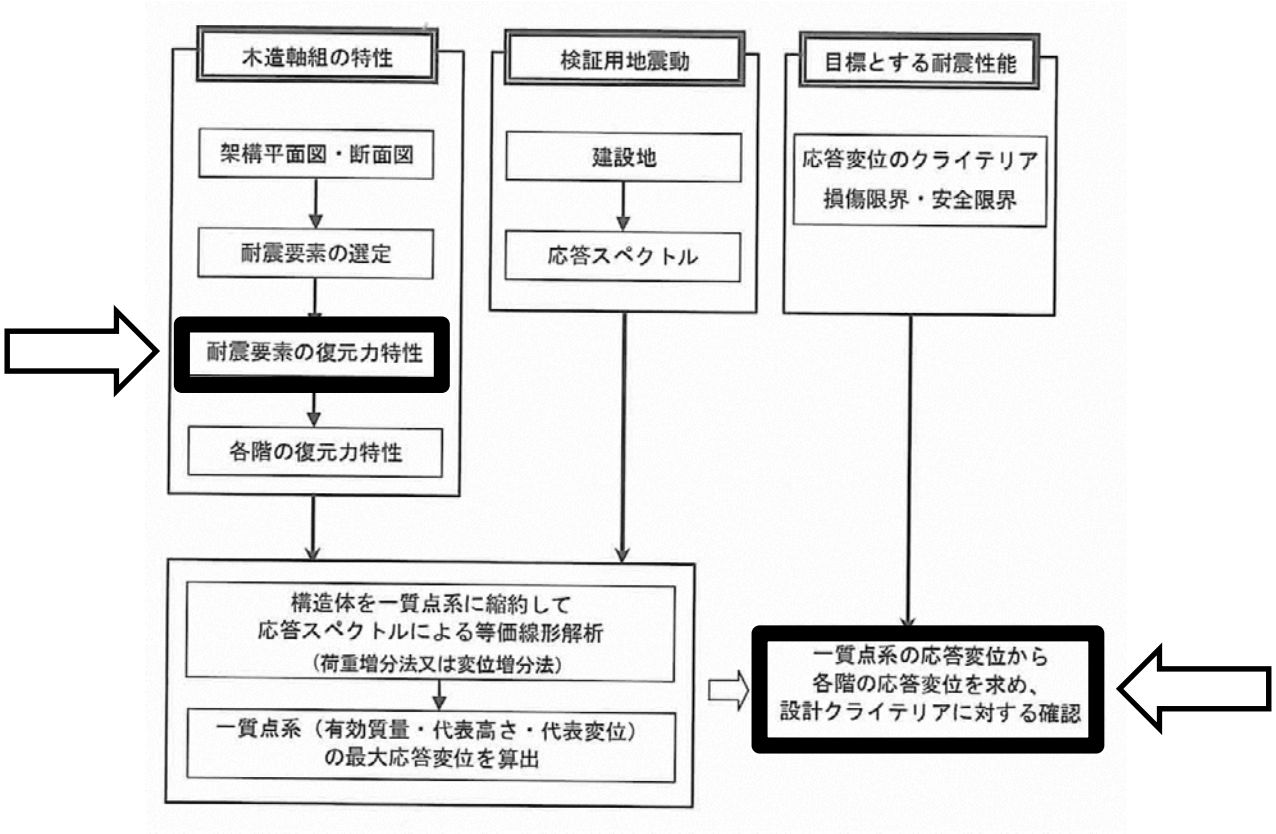
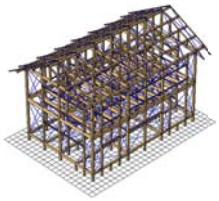
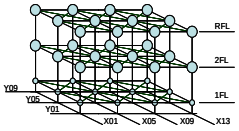
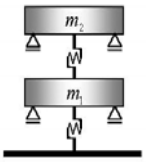
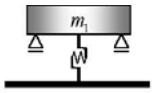


図　限界耐力計算による耐震性能評価法のフロー
「伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル」
表　設計法と解析モデル

	3 次元立体解析	構面モデル	2 質点モデル	1 質点モデル
解析モデル				
モデル	要素ばね 接合部、部材、工法	構面ばね 工法（壁、床）	層ばね	建物縮約モデル
1 次設計	許容応力度計算			
	→縮約	許容応力度計算		
2 次設計	保有水平耐力計算			
	→縮約	保有水平耐力計算		
	→縮約	→縮約	保有水平耐力計算	
	→縮約	→縮約	→縮約	限界耐力計算
	時刻歴応答解析	時刻歴応答解析	時刻歴応答解析	時刻歴応答解析
	各部検討 （応力、変形）	←	←	←
設計可能 項目	構面 部材(層をまたがる部材も可) 接合部 石場建て	構面 水平構面 偏心	層間変形 剛性率 高次モード	層間変形
DB	剛性 許容応力 終局応力			

２ モデル化と各部検討

２．１ モデル化

時刻歴解析においては、個別の耐震要素の復元力特性をどのようにモデル化するかが最重要である。個々の復元力特性についてデータベースが必要となるが、建築物全体の挙動把握をするとともに、各部の検討項目を検証できる適切なモデル化を行う必要がある。

3 次元立体モデルを前提とすると、各構造要素の特徴を考慮するとモデル化の概要は以下のようになる。

・質点は、重量偏心、回転慣性などを検討できるよう適切に配置する
・支点条件は、回転ばねと弾塑性ばねで組み合わせる
・軸材は材端の剛塑性回転ばね＋弾性梁要素を組み合わせた基本部材とする
・接合部は弾塑性の回転ばねと弾塑性ばねを組み合わせる
・各種耐力壁、水平構面は、弾塑性のブレース置換、せん断ばねモデルとする

建築物全体が一様に振動しないような場合には､建築物全体での挙動と要素(構面など)毎の挙動を把握したうえで地震時の安全性の検討が必要となる。また、柱の転倒復元力、柱脚の摩擦力など軸力に影響を受ける耐震要素を検討する場合には、鉛直荷重および水平力時の軸力変動を考慮できる解析モデルを用いる必要がある。

本設計用データベースを用いた個別要素法による 3 次元立体骨組解析モデル（図 2.1-1）の例を以下に示す。

軸材は材端の剛塑性回転ばね（塑性ヒンジ）＋弾性梁要素の組み合わせを基本部材とし、接合部は弾塑性の回転ばねと弾塑性ばねを組み合わせた 6 自由度のばねで表現する。土塗り壁などの鉛直構面、床・小屋組の水平構面は、弾塑性のトラス要素でブレース置換によるモデル化を行う。

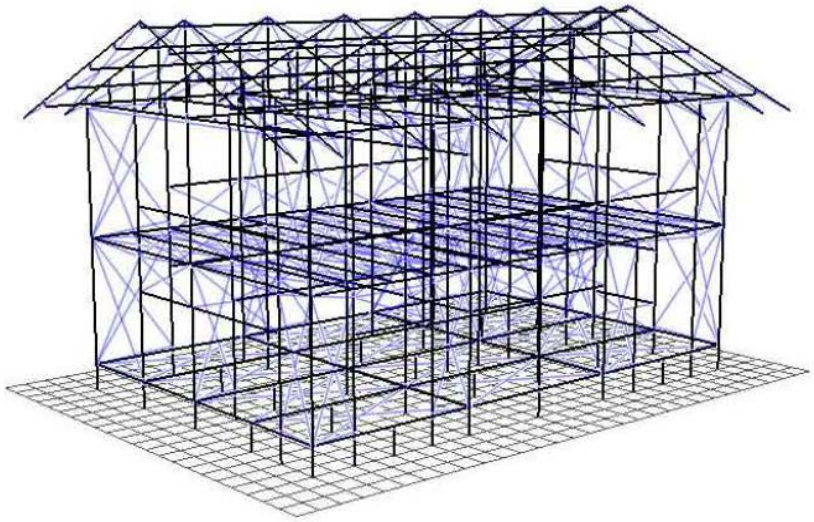


図 2.1-1　木造建物モデル

詳細解析モデルに入力する接合部ばねは、最大 6 自由度×2（正負）から構成されることになる。通常の解析では、完全剛や完全ピンとして評価され簡略化されているものもあるが、破壊性状を考えながら自由度を下げることが必要である。

(1)　軸組

軸組は折損を考慮するために**図 2.1-2** に示したような剛塑性回転ばね（塑性ヒンジ）＋弾性梁要素でモデル化を行った。履歴特性は**図 2.1-2** 左に示した履歴則とする。骨格曲線の曲げモーメントがゼロとなる回転角に達すると、部材が折損したとみなし、部材間の回転ばねをピン接合に変更する。このように設定することで、通し柱の折損や、小壁がついた柱の横架材接合部での折損現象を解析で表現することが可能となる。

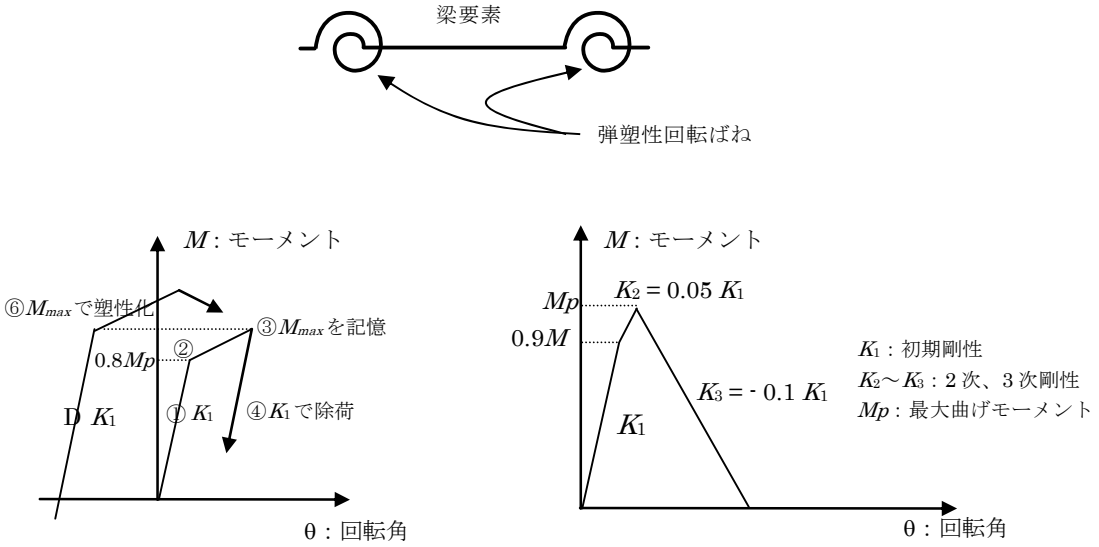
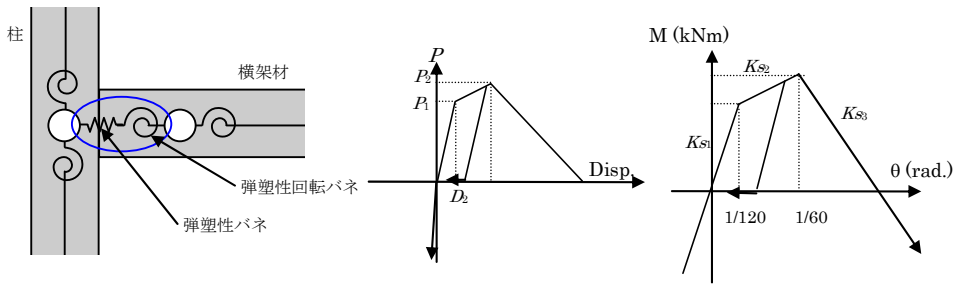


図 2.1-2　軸組ばねの概念図と骨格曲線

(2) 接合部

軸組間の接合部は、**図 2.1-3(a)** に示したような回転ばね＋弾塑性ばね（せん断に対しては剛）を設定した。圧縮・引張の弾塑性ばねの履歴特性は**図 2.1-3(b)** に示したような片側弾性＋片側スリップ型とした。回転ばねの履歴特性は、**図 2.1-3(c)** に示したようなスリップ型とした。回転ばねは強軸、弱軸の各方向に独立に作用する。



(a) 接合部の概念図　　(b) 弾塑性ばねの復元力特性　　(c) 回転ばねの復元力特性

図 2.1-3 接合部のモデル化概要

(3)　鉛直構面・水平構面

鉛直構面は、**図 2.1-4** に示した通り、トラスばねでブレース置換することでせん断力のモデル化を行った。履歴特性は、**図 2.1-5** に示したバイリニア＋スリップ型履歴則を用いた。水平構面も同様にトラス要素でブレース置換することでモデル化し、履歴特性も同様にバイリニア＋スリップ型履歴則を用いた。

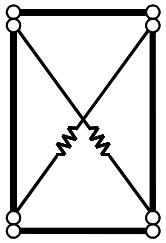


図 2.1-4 トラスばねによるブレース置換

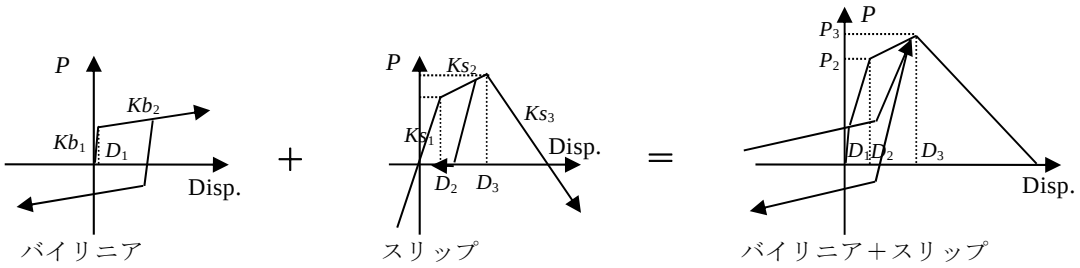


図 2.1-5 鉛直構面、水平構面の履歴特性

２．２　各部の検討

時刻歴応答解析、限界耐力計算により、建築物の全体の変形がクライテリアを満足していることを確認するとともに、水平構面の剛性が不十分な場合には、局部的な変形にも注意をする必要がある。

また、建築物全体で想定している荷重変形関係を保証すると共にその挙動を保証するために、以下のような各部材の安全性の検討を行う必要がある。特に、履歴特性の下り勾配領域まで考慮する場合には、最大変形時のみでなく最大荷重時に対しての検討も必要となる。

1)柱の折損、2)継手・仕口接合部の設計、3)柱脚の設計、4)基礎の設計

設計用データベースでは、こうした各部検討のための情報整理も必要である。

【課題】

・荷重変形関係を担保する各部検討のためのデータ整理

３. データベース項目

3 次元立体解析モデルを用いた限界耐力計算、時刻歴応答解析を前提とした場合、データベースとして必要な項目は以下のようになる。このほかに、安全限界変形を検討するためには要素の終局時の破壊モードに関する情報も必要となる。

(1)　基本項目

初期剛性	弾性設計用（1/200rad.時、1/120rad.時）、エネルギー評価用（K）、時刻歴減衰評価用（1/600rad.時）
降伏変形	終局考慮、終局未考慮 （平家の場合、屋根のみであれば振動障害も少ないため 1/90rad.の可能性もあるが要検討）
終局変形	何かが壊れる変形、Pmax の 80%の制限はしない。 部材の曲げ破壊は、基準強度で検討する。

(2)　荷重変形関係

特定変形角時荷重

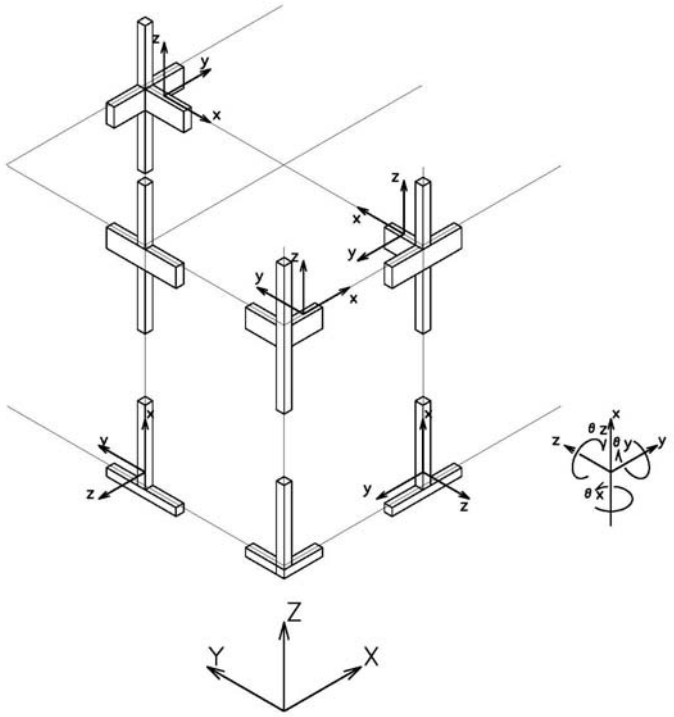
マルチリニア（負勾配を含む）（４折れ線程度）

荷重変形関係については、簡略化した完全弾塑性モデルの提示なども候補となったが、まずは詳細なデータを収集整理し、簡略化したデータはそのあと整備することとした。また、特定変形角時荷重、マルチリニア、トリリニアなども候補にあがったが詳細な検討を前提とする。また、バイリニア、トリリニアは上記のデータがあれば導き出すことができるため省略することとした。

(3)　座標系

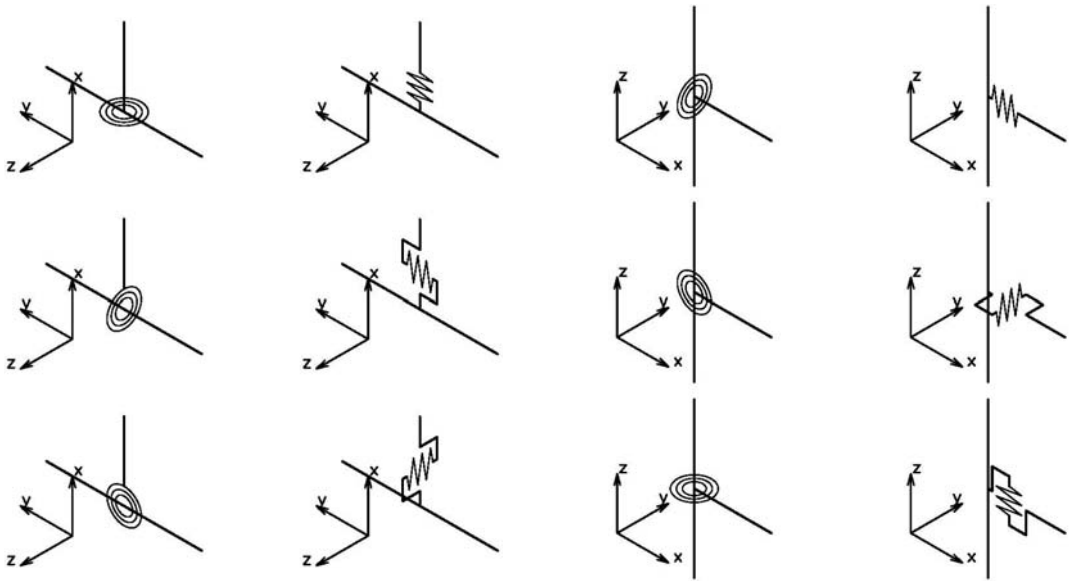
データベースの整理に当たっては、座標系の統一が必要となる。

その場合、解析モデルの全体座標系とは異なる部材座標系（部材、接合部）で表現することになる。座標系を図 3-1、3-2 に示す。



X,Y,Z　全体座標系、　x,y,z　部材座標系

図 3-1　座標系



(1) 柱脚接合部（土台－柱）　　(2) 梁接合部（柱－横架材）

図 3-2　接合部ばね

4. データベース整理方法

4.1 実験データ処理方法の収集・整理

３章の項目に対して、具体的には下記のようなデータを収集整理すれば、3 次元立体解析を用いた限界耐力計算、時刻歴応答解析が実施可能である。

1) 特定変形角

特定変形角は、表 4.1-1 とする。

表 4.1−1 特定変形角と変形角イメージ

特定変形角	変形角のイメージ
1/1000	
1/600	バイリニア成分折れ点
1/120	損傷限界、剛性
1/90	（損傷限界候補）
1/60	
1/30	木造建築安全限界
1/20	変形追従性の高い木造建築の安全限界
1/15	安全限界の 1.5 倍の変形

一方、木造軸組工法住宅では、「木造軸組工法住宅の限界耐力計算による設計の手引き」[1)]や「木造住宅の耐震診断と補強方法」[2)]で、構造要素の骨格曲線が整理されており表 4.1-2 のようになっている、これらとの統一も検討されたが、伝統的な工法では、従来の 1/120、1/60、1/30、1/15rad.が損傷、破壊の変化と近いため上記の値を採用した。データベースの統合のためには、追加検討が必要である。

表 4.1−2 木造軸組工法住宅データベースの特定変形角

/1000rad.	1	2	3	5	7.5(8)	10	15	20	30	40	60
		1/500		1/200		1/100		1/50		1/25	

【課題】

・現代木造建築のデータベースとの整合

2) 剛性、耐力

剛性と耐力については、複数試験体の実験結果を用いて統計処理をするため、

剛性については、信頼水準 75％の 50%下限許容下限値

耐力については、信頼水準 75％の 95%下限許容限界値（いわゆる 5%下限値）

とした。

【課題】
・剛性については平均値、耐力については 50%下限許容下限値も候補にあがったが一般的な値を採用した。収集されたデータから分析が実大振動台実験結果の検証などから検討が必要。

3)　データ処理

実験から特性値を求める場合、複数試験体による実験結果から算出することになるが、複数の部材から構成される複雑な構法の構造要素では、各試験体の荷重変形関係が同様にならない場合がある。特に破壊形式が異なる場合には、各試験結果の持つ意味も異なってくる。このため、複数試験体の実験結果を平均するときには、以下の点に注意をする。

複数試験体の実験結果を平均する方法

荷重変形関係	同じ破壊形式の 3 体以上の実験結果を用いて、特定変形角ごとにばらつき係数を考慮して平均をしてなめらかな曲線とする。 異なる破壊形式をする場合には、注意事項として特記を行い、異なる破壊形式をしない同様の部材バランスでのみ使用する。
特性値	各試験体の特性値算出後に、ばらつき係数を考慮した平均

荷重変形関係から算出する特性値については、

・荷重変形関係を平均した 1 つの荷重変形関係から算出する方法

・各試験体の荷重変形から算出した特性値を平均する方法

の 2 種類が考えられるが、現行の壁倍率の評価では後者を用いているが、平均化した荷重変形関係と不整合になるため、ここでは平均した荷重変形関係から算出した特性値を用いることとした。

【課題】
・荷重変形関係を算出した破壊形式となる条件の明示をしなければならない。
・一定の確率で異なる破壊形式となる構造要素の評価法。
・接合部検討時の P_{max} の値の提示方法

4.2 特性値の評価法

4.2.1 特性値

各特性値の算出方法については、既往のデータ処理方法を原則とする。

4.2.2 接合部の荷重変形

木質構造接合部の特性値の評価法については、「木質構造接合設計マニュアル」（日本建築学会、2009）に以下のように示されている。

木質構造接合設計マニュアル　P.315

「**(1) 特性値の評価方法**

試験結果は、試験の種類に応じてその目的に適合するよう、得られた試験結果を適切に統計的に処理して特性値を算出する。一般的には、耐力については母集団の下限値の推定値（通常は信頼水準 75%の 95%下限許容限界値：式 4.2-1）、剛性については母集団の下限値の推定値（通常は信頼水準 75%の 50%下側許容限界値：式 4.2-2）を求めるのが一般的である。ただし、試験の目的によっては、剛性についても下限値を算出する必要がある場合がある。

また、試験体の含水率や木材の密度によっては、標準条件に対する値を推定するため、予め含水率等による補正を行ったデータを用いる必要がある。また、常時湿潤な使用環境での使用が想定される接合部など、特殊な条件で用いられる接合部については、当該条件に適合するよう、評価結果を補正する必要がある。

$$TL = x - K_1 \cdot s \qquad \text{（式 4.2-1）}$$

ただし、

x　：試験より得られた平均値

K_1　：試験体数に依存する定数で、引用表 4.2-2 による。

s　：標本標準偏差

引用表 5.3-2　信頼性水準 75%の 95%下側許容限界値を求める際の式 4.2-1 における係数 K_1

試験体数	K_1	試験体数	K_1
3	3.152	15	1.991
4	2.681	20	1.932
5	2.464	30	1.869
6	2.336	50	1.811
7	2.251	100	1.758
8	2.189	200	1.732
9	2.142	500	1.693
10	2.104	1000	1.679
12	2.048	3000	1.664

$$TL = x - K_2 \cdot s \qquad \text{（式 4.2-2）}$$

ただし、

K_2　：試験体数に依存する定数で、引用表 4.2-3 による。

引用表 4.2-3　信頼性水準 75%の 50%下側許容限界値を求める際の式 4.2-2 における係数 K_2

試験体数	K_2	試験体数	K_2
3	0.471	15	0.201
4	0.383	20	0.179
5	0.331	30	0.154
6	0.297	50	0.125
7	0.271	100	0.108
8	0.251	200	0.096
9	0.231	500	0.088
10	0.222	1000	0.076
12	0.211	3000	0.068

(2) 特性値の種類

接合部試験、支圧試験及び接合具試験では、可能な限り、初期剛性、降伏耐力、降伏変位、最大耐力、終局耐力及び終局変位を試験結果から算出する。これらの算出方法の例については、引用表 4.2-4 を参照されたい。

調整係数試験により算出する量は、含水率による耐力調整係数、含水率による剛性調整係数、クリープによる変形増大係数、荷重継続期間による耐力調整係数とする。

引用表 4.2-4　各特性値の評価方法の例

特性値	評価内容	評価方法		
降伏耐力 (P_y)	接合部の損傷が生じないか又は生じていないと見なすことができる限界の耐力として，右の(a), (b)または(c)のいずれかの方法により求めた耐力	２直線近似が妥当な場合は，当該２直線の交点	初期の勾配に対し，接合具径の５％だけずらした直線と，荷重変形曲線との交点	0.1 Pmax と 0.4 Pmax を結んだ直線Ｉと，0.4 Pmax と 0.9　Pmax を結んだ勾配Ⅱで荷重変形曲線に接する直線Ⅲとの交点
降伏変位 (D_y)	接合部がはじめに降伏耐力に達した時の変位として，右の(a), (b)または(c)のいずれかの方法により求めた変位			
初期剛性 (K)	原点と降伏点を結ぶ直線の傾きとして，右の(a), (b)または(c)のいずれかの方法により求める			
最大耐力 (P_{max})	特定変形に達するまでの間に接合具に加わる最大荷重の値 (特定変形は，15 mm，または，接合具の径，接合部の許容される変形量等により適切に定めた値)	破壊時の変位（$D_{rup.}$）が特定変形より小さい場合	$D_{rup.}$が特定変形より大きい場合	
終局変位 (D_u)	右の３つの方法で求めた数値のうち，最も小さい値	P_{max}, 0.8 P_{max}, D_{rup}, $D_{0.8Pmax}$ → D_u	P_{max}, 0.8 P_{max}, $D_{0.8Pmax}$, D_{rup} → D_u	特定変形：25 mm，または接合具の径，接合部の許容される変形量等により適切に定める
		ただし，図中の D_u が特定変形より大きい場合は特定変形を D_u とする．		
終局耐力 (P_u)	終局変位までのエネルギー量が試験による包絡線と等価になるような完全弾塑性への置換を行い，その耐力とする．	Py, Dy, Du　　Pu, Py, K, Dy, Du と の面積が等しくなるように Pu を決める．		

注：降伏耐力(P_y)，降伏変位(D_y)，初期剛性（K）を求める方法(a)，(b)，(c)はそれぞれにおいて同一の方法を用いるものとする．