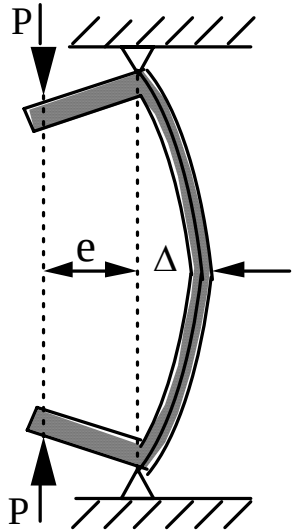
4.4　長柱の耐荷力



偏心載荷によるモーメント
= P e

変形に伴う2次モーメント
= P Δ

作用モーメント
= P (e + Δ)

○軸圧縮力P、偏心量eで、偏心載荷された柱には、曲げモーメント Pe が作用する。これによって、柱には横方向変位Δが生じるが、これによってさらに付加的なモーメントPΔが生じる。このため、最大曲げモーメントはP(e+Δ)に増加する。

○これを「P−Δ」効果という。付加される曲げモーメントを「付加モーメント」、「2次モーメント」などと称する。

○柱が長いときは、Δが大きくなるので、コンクリート柱においても、2次モーメントを無視できない。これによって、柱の耐荷力が、短柱としての耐荷力（＝断面としての耐荷力）よりも低下する。→　「長柱」、長柱効果

○逆に言えば、

→ 断面に比較して、柱の長さが短いとΔも小さいので、2次モーメントを無視できる。これが「短柱」である。

→ 長い柱であっても、e が非常に大きい場合は、e≫Δであり、「はり」としての挙動に近づくので、2次モーメントの影響は無視できる。

→ Δは、柱端部での変位や回転の拘束条件（境界条件）により、大きく変化するので、2次モーメントの大きさも変化する。

→ 長柱の耐荷力は断面特性ではなく、構造特性である。

◎短柱は「断面」だけを考えて、耐力を算定できた。

長柱は、断面に加えて、柱の形状・寸法、荷重の偏心量、柱端部の拘束条件などを総合的に考慮しないと耐力を算定できない。

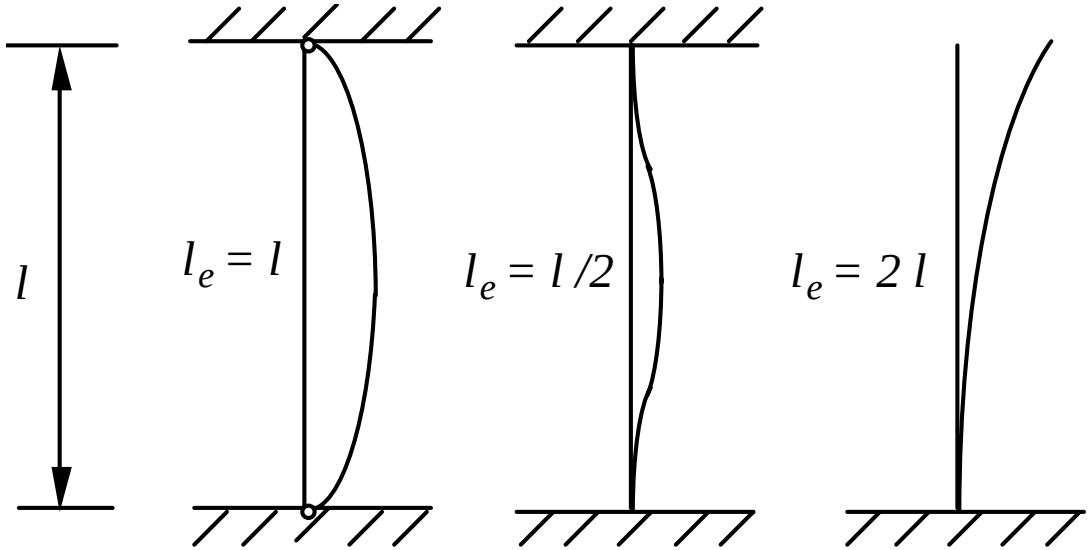
4.5 長柱の範囲（簡易的な判断手法）

細長比λによる簡易的な長柱の判断方法

$$\lambda = \frac{l_e}{r}$$

ただし、l_e：柱の有効長さ（＝弾性座屈長）、r：回転半径　$r = \sqrt{I/A_g}$

例) 長さ l の柱で、両端ヒンジの場合 $l_e = l$、両端固定の場合 $l_e = l/2$
一端固定、他端自由 $l_e = 2l$



○土木学会のコンクリート標準示方書では、λ≦35を短柱、λ＞35を長柱としているが、あまり物理的な根拠はない。
なお、長柱では、2次モーメントの影響を考慮して、耐荷力を算定することと規定されている。

例) 一辺 a の正方形断面柱を考える。$I = a^4/12$、$A = a^2$。よって、$r = a/\sqrt{12}$。
両端ヒンジとすれば、$l_e = l = 35r = 35a/\sqrt{12}$　10a
両端固定とすれば、$l_e = l/2 = 35r = 35a/\sqrt{12}$ → l　20a
ラフに言えば、この程度が長柱と短柱の限界である。

4.6　長柱の構造解析

○Δに影響する要因

→　柱の形状･寸法、荷重の偏心量、端部の拘束条件 (境界条件)
　柱部材の曲げ剛性、不静定構造であれば、隣接部材との剛比、
　コンクリートのクリープ、乾燥収縮など。
　曲げ剛性は、コンクリートのひび割れによって大きく変化する。

→　材料非線形の問題である。

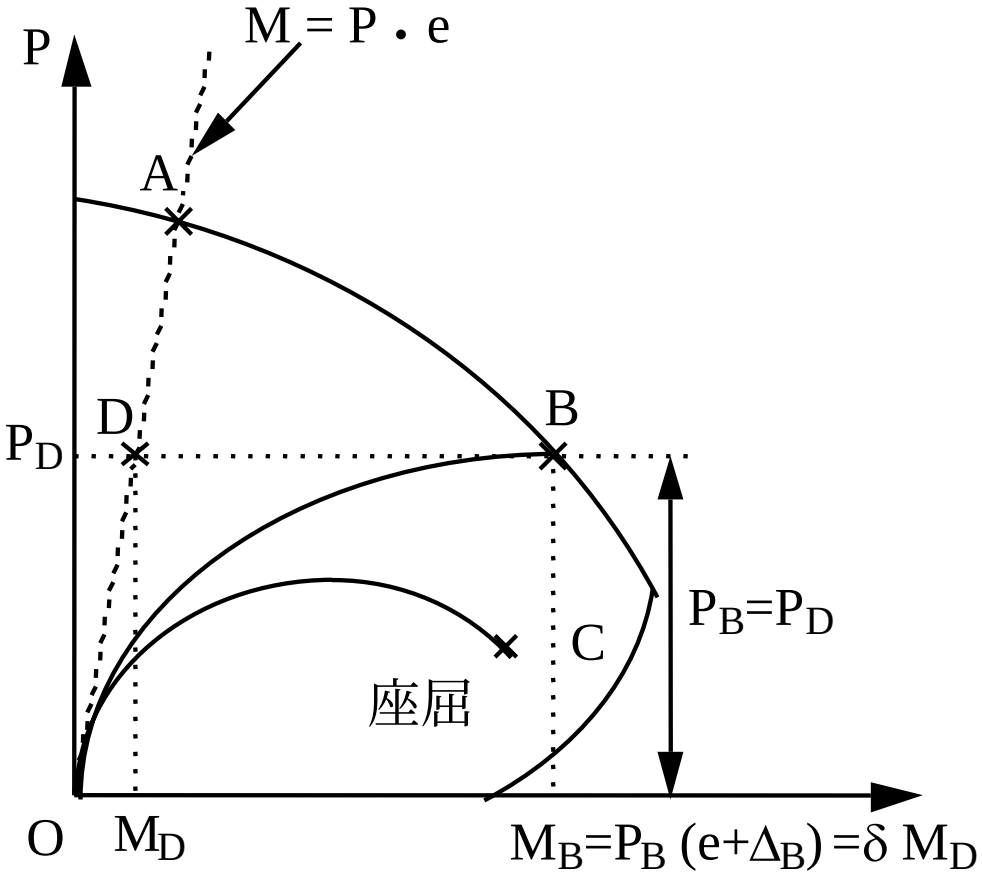
4.7　モーメント拡大法 (Moment　Magnifier　Method)

○長柱の解析　→　材料非線形問題　→　非線形の構造解析

→　設計実務上はなかなか煩雑　→　土木学会コンクリート標準示方書は方針を示しているにすぎない。

○U.S.A. (American Concrete Institute, ACI-318 Building Code Requirements) は簡便法を規定　→　モーメント拡大法　(Moment Magnifier Method)

○曲げと軸力を受けるRC断面の耐荷力の相互作用図 (interaction diagram)



OA：　偏心載荷された短柱に作用する軸力Pと曲げモーメントM = Peの関係
短柱の場合　→　2次モーメントは無視できるので、OAは直線となる。
OAが相互作用図と交わるA点で破壊が起こる。
短柱の耐荷力は断面形状と材料特性のみから決まる。

OB： 偏心載荷された長柱に作用するPとMの関係。
長柱 → 2次モーメントが付加される。$M_2 = P\Delta$
柱の曲げ剛性は荷重の増加に伴うひび割れの発生により急速に低下。
変位が急増。OBは直線から離れていく。
B点で相互作用図と交わり、破壊する。

B点：作用軸力P_Bと作用曲げモーメント$M_B=P_B\ (e+D_B)$のもとでの短柱の破壊と考えて良い。

OC： 柱が非常に細長い場合。P−M曲線が相互作用図に達する以前に不安定となる（座屈）。

◎モーメント拡大法

・長柱の破壊の内、安定的破壊形態であるOBのような挙動をする柱を対象。
OCについては、モーメント拡大法の範囲外。

・図のB点に作用する曲げモーメントM_BをOA上のD点の曲げモーメントM_Dのδ倍として与える（モーメントを拡大する）。

・軸力は$P_D=P_B$なので、設計荷重$(P_B, M_B)=(P_D, \delta M_D)$に対して、短柱として設計する。

2次モーメントを考慮して、モーメントを拡大して評価し、短柱として設計する手法。