

土止め支保工のきりばり における継手の効率

土木課 森 宜 制, 国 森 昌 之

Research on the Efficiency of Strut in Retaining of Excavation Surface

by Y. Mori, M. Kunimori

Generally lengthwise and crosswise struts are disposed like a latticework, to retain excavation surfaces of a building foundation which has a large area.

In this case it can be considered that each strut is a continuous column with many intermediate supporting points, and that the buckling strength is nearly equal to that of a three-spanned continuous column.

When the continuous column has a joint which is not enough rigid, we presume that the buckling strength decrease with the existence of joint.

Now we designate the ratio of the buckling strength of a column with a joint to one without a joint as the "efficiency of joint."

In order to make clear the efficiency of joint, the theoretical analysis in the case of hinged joint and the model tests in the case of "butt joint with end plate", which is commonly used in an actual strut, were carried out concerning three spanned continuous column with a joint in the middle span.

According to the results, the efficiency of joint can be approximately expressed as the equation

$$\beta = 1 - m \sin k \pi$$

, where β is the efficiency of joint,

k is the ratio of the distance between the supporting point and the joint to the span length,

m is the coefficient effected by joint rigidity,

$m=0.672$ in the case of hinged joint,

$m=0.329$ in the case of "butt joint with end plate",

and naturally $m=0$ in the case of no joint.

Concerning another tipe of joint, the coefficient m is to be between 0.672 and 0, but the exact information seems to need more studies.

§-1 ま え が き

土木建築の基礎工事において土止めを行なう場合、土圧を受けた矢板を支えるために矢板に直角に入れた部材を通常きりばりという。掘削平面が大きい場合にきりばりは基盤の目のように縦横に入れられ、各きりばりは何本かの材料を継手で連結したものが使用される。

本研究はきりばりを継手により連結して使用する場合

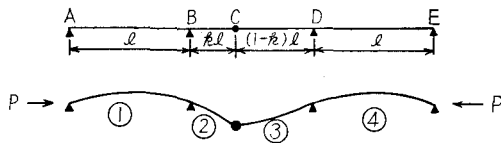
に、その座屈強度が継手のない場合に比べてどれだけ低下するかいいかえるとその効率を解析および模型実験により求めたものである。

また施工の際に、きりばりの中間にジャッキを挿入することがあるが、このジャッキ挿入による座屈強度の低下についても、ジャッキに相当する模型として両端に座板を有するパイプを挿入した実験を行ない、座屈強度の低下率を求めた。

§-2 ヒンジ継手を有するきりばりの理論的 座屈強度

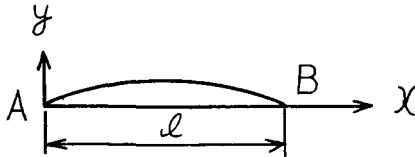
継手をヒンジと仮定した場合、すなわち継手における曲げモーメントが0になる場合について解析を行なった。

扱ったきりばりは3スパンの中央スパンにヒンジ継手(C)がある場合である。(次の §-3 試験材の項参照)



このきりばりを4つの区間に分けて考える。

①の区間



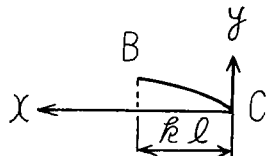
今全区間を通じて一定なので、 $\omega^2 = \frac{P}{EI}$ とし

$$\begin{cases} x=0 & \text{で } y=0 \quad \text{および} \quad y''=0 \\ x=l & \text{で } y=0 \end{cases}$$

なる条件を考慮すれば撓の式は次のようになる。

$$y = A_1 \left(\sin \omega x - \sin \omega l \times \frac{x}{l} \right) \quad \dots\dots\dots(1)$$

②の区間

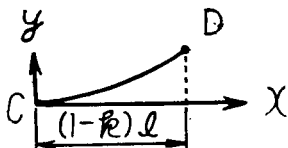


$$x=0 \quad \text{で} \quad y=0 \quad \text{および} \quad y''=0$$

なる条件を考慮すれば撓は次式となる。

$$y = A_2 \sin \omega x + B_2 x \quad \dots\dots\dots(2)$$

③の区間

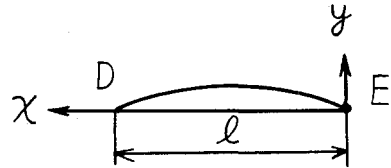


$$x=0 \quad \text{で} \quad y=0 \quad \text{および} \quad y''=0$$

なる条件を考慮すれば撓は次式となる。

$$y = A_3 \sin \omega x + B_3 x \quad \dots\dots\dots(3)$$

④の区間



$$\begin{cases} x=0 & \text{で } y=0 \quad \text{および} \quad y''=0 \\ x=l & \text{で } y=0 \end{cases}$$

なる条件を考慮すれば撓は次式となる。

$$y = A_4 \left(\sin \omega x - \sin \omega l \times \frac{x}{l} \right) \quad \dots\dots\dots(4)$$

②+③の区間 (BD区間)

この区間における横力一定なる条件から次式を得る。

$$B_2 + B_3 = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

またCにおける②と③の撓みが等しいという条件から次式を得る。ただし kl は支点BからヒンジCまでの距離を表わすものとする。

$$\begin{aligned} A_2 \sin k\omega l + B_2 k l &= A_3 \sin (1-k)\omega l \\ &+ B_3 (1-k) l \quad \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

次にBにおいては①, ②区間の y'' および y' は一致するという条件から次式を得る。

$$A_1 \sin \omega l = A_2 \sin k\omega l \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\begin{aligned} A_1 \left(\omega \cos \omega l - \frac{1}{l} \sin \omega l \right) &+ A_2 \omega \cos k\omega l \\ &+ B_2 = 0 \quad \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

同様にDにおける③, ④区間の y'' および y' は一致するという条件から次式を得る。

$$A_4 \sin \omega l = A_3 \sin (1-k)\omega l \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\begin{aligned} A_4 \left(\omega \cos \omega l - \frac{1}{l} \sin \omega l \right) &+ A_3 \omega \cos (1-k)\omega l \\ &+ B_3 = 0 \quad \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

以上の⑤~⑩式が $A_1, A_2, \dots, B_3, A_4$ の値如何にかかわらず常に成立するためには、結局次式が満足されなければならない。

$$\begin{aligned} & \left(\cot \alpha - \frac{3}{\alpha} \right) \left(\cot \alpha - \frac{1}{\alpha} \right) + \left(\cot \alpha - \frac{2}{\alpha} \right) \times \\ & \{ \cot k\alpha + \cot (1-k)\alpha \} + \cot k\alpha \cot (1-k)\alpha \\ & = 0 \quad \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

ただし

$$\alpha = \omega l \quad \dots\dots\dots(12)$$

今与えられた k に対して(11)式より α を求めると

$$\omega^2 = \frac{\alpha^2}{l^2} = \frac{P}{EI}$$

より P が求められる。

$$P = \frac{\alpha^2 EI}{\beta^2} \dots \dots \dots (13)$$

さて継手のない連続材の座屈強度は

$$P_0 = \frac{\pi^2 EI}{\beta^2}$$

であるから、両者の比は

$$\frac{P}{P_0} = \frac{\alpha^2}{\pi^2} \dots \dots \dots (14)$$

となる。これが継手のない場合に対するヒンジ継手のある場合の強度比すなわち効率である。

(11)式より k が 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 に対する α を求めると

k	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
α	3.1416	2.797	2.424	2.098	1.878	1.800

となりさらにおおの k に対する $\frac{\alpha^2}{\pi^2}$ は

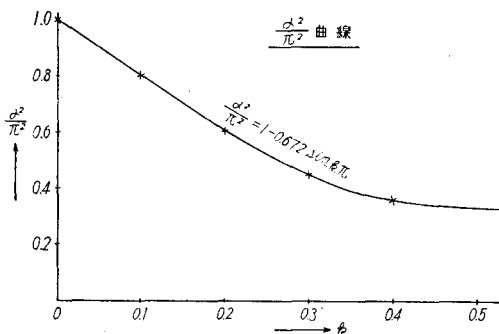
k	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$\frac{\alpha^2}{\pi^2}$	1	0.792	0.595	0.446	0.357	0.328

となるが、この値は次式のように近似的に $\sin$ 関数で表わすことができる。

$$\frac{\alpha^2}{\pi^2} \div 1 - m \sin k\pi \dots \dots \dots (15)$$

最小二乗法で上式の m を求めると、 $m=0.672$ となる。ただしこの表現はあくまで便宜的なもので理論的な意味はない。以上の関係を図示したのが図-1である。

図-1



§-3 試験材

実際の現場では図-2のように多数のきりばりが使用され、それぞれのきりばりは土圧による圧縮力を受ける。

図-2

平面図

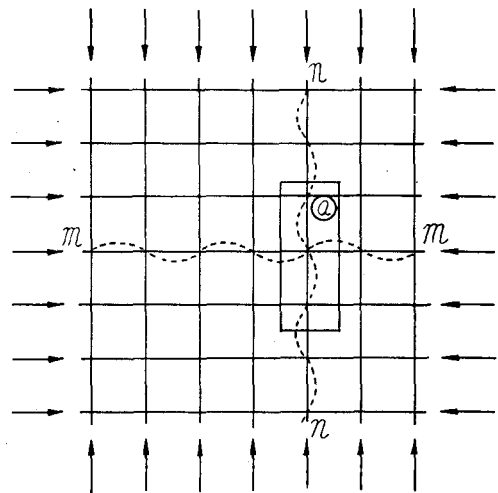
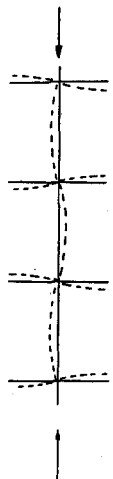


図-3

② 部分



今 $n-n$ 部材について考えれば、圧縮による座屈の形態は同図のようになる。すなわち、各スパンがほぼ等しいときはそれぞれのスパンを半波長とする波形を描いて座屈する。一方実験では a 部分(図-3)に相当する3スパンについて行なったが、この場合最上端および最下端にはエンドプレートが取付けられてあり、これを平押しするため上スパンおよび下スパンは上下端の材端拘束の影響を受けて両端ヒンジの座屈強度より強まるが、中間スパンはこの拘束がほとんどないため両端ヒンジの座屈強度にほぼ等しいと考えられる。したがって継手は材端拘束の影響のほとんどない中間スパンに設けたわけである。なお試験材は現場で使用するものと相似なものを用いるようにし図-4に示すような4種類のものを使用した。

図-5が試験材断面図であるが、軽ミゾ形鋼を使用する計画であったが、入手不可能なためにリップミゾ形鋼を使用した。継手の部分を図-6に示す。図-7はジャッキの模型を示すものであり、これを挿入した試験材をE型としている。

図-4
試験材

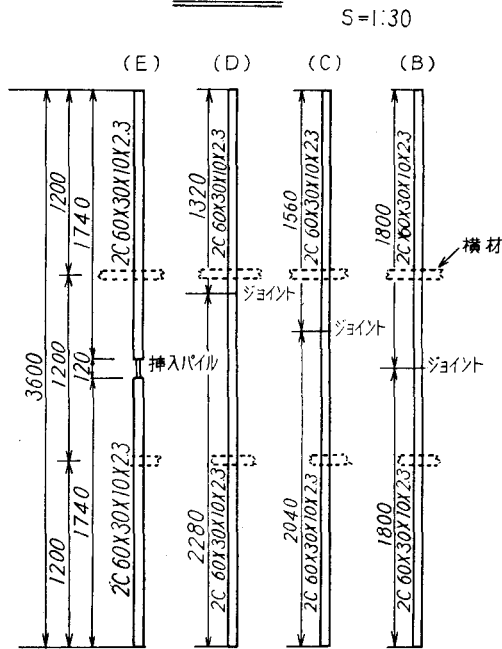


図-5

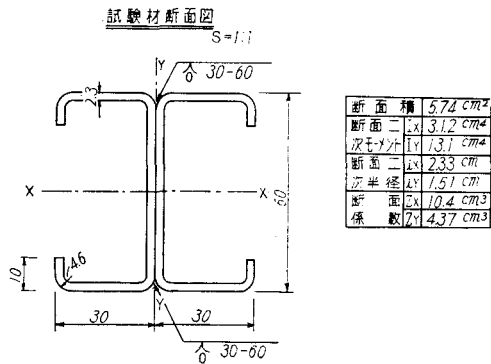


図-6

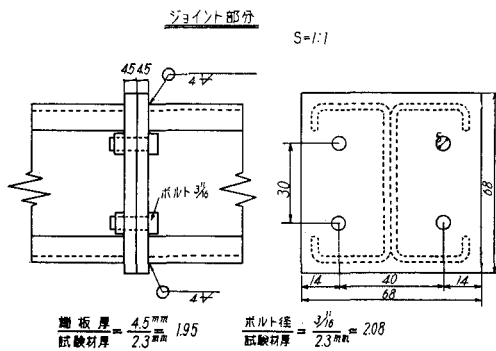
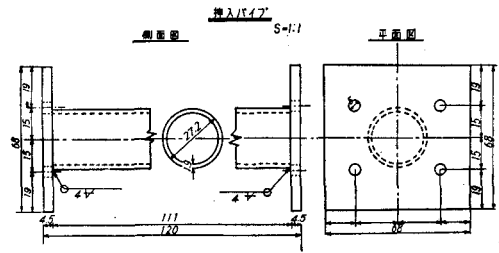


図-7

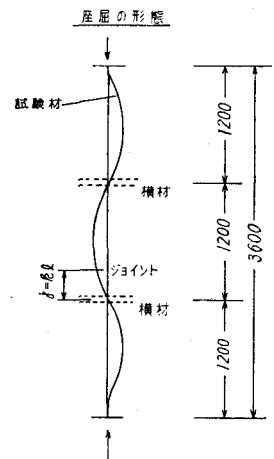


§-4 試験方法

試験材を直接試験機の加圧板上にセットし、1 ton ずつ荷重を加えて試験材が座屈するまで加圧し、各荷重時における試験材中間スパンの中心の横撓みを測定したが、これは試験材にスケールを取付けて、これをトランシットによって読む方法をとった。また図-4および図-8に示すように、試験材を三等分する位置に横材を通して横方向の変位を拘束するようにした。この場合横材との交点では横材に曲げモーメントが伝わらないようにしたので、同点は座屈変形時の変曲点となることが予想される。

このようにして継手の位置を示すkに対する座屈強度およびその効率 β を求めたわけである。

図-8



§-5 試験結果

(i) 座屈荷重

試験の結果得られたkに対する座屈荷重を次に示す。

形	B	C	D	E
1	11.8 ton	12.8 ton	15.3 ton	9.6 ton
2	12.1 "	13.6 "	16.0 "	9.7 "
3	11.9 "			
(k)	0.5	0.3	0.1	0.5

同表から明らかなように、この場合もヒンジ継手の場

合と同じような傾向を持つので、これを次式のように近似的に $\sin$ 関数関係にあるとみなし

$$P_K = A - B \sin k\pi$$

最小二乗法により A 、 B を求めると

$$A = 17.7 \text{ t}$$

$$B = 5.83 \text{ t}$$

が得られ、前式は次のようになる。

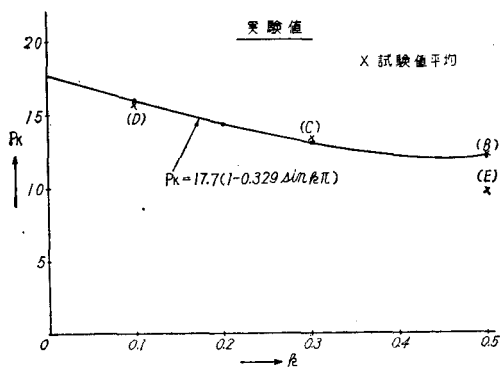
$$P_K = 17.7 (1 - 0.329 \sin k\pi)$$

以上の関係を図示したのが図-9である。

したがって効率 β は次式となる。

$$\beta = 1 - 0.329 \sin k\pi \dots\dots\dots (10)$$

図-9



(ロ) 横 撓 み

各型について荷重と横撓みの関係を図示したものが、図-10～図-13である。

図-10

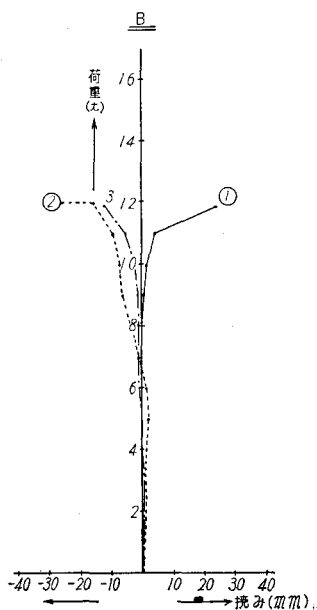


図-11

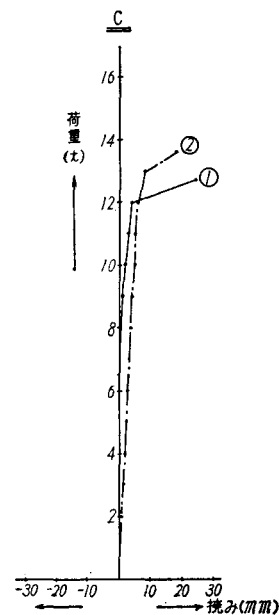


図-12

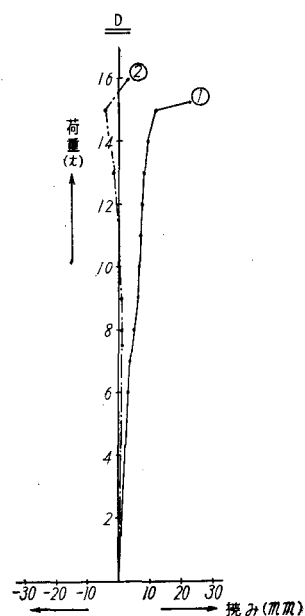
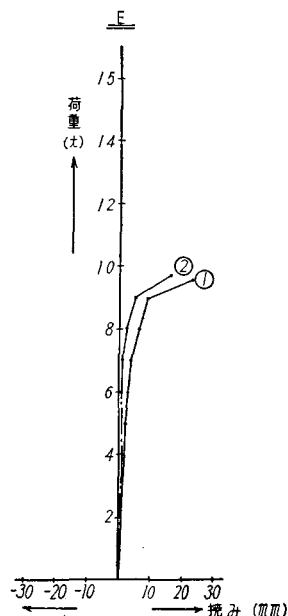


図-13



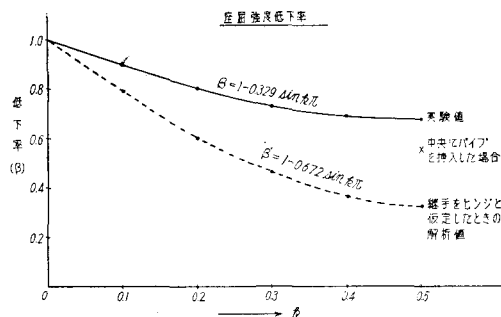
§-6 む す び

きりばりの継手が図-6のようにエンドプレートをつけて、ボルト等により締めつけるような構造のときには、その継手によってきりばりの座屈強度はかなり低下することが実験により明らかになった。この実験は実物大実験ではないので断定はできないが、実際に現場で用いられるものの場合でも、この実験とあまり差はないと思われる。

図-14は継手の効率を示すものであるが同図を見るとわかるように、継手がスパンの中央にある場合、すなわち $k=0.5$ の場合は座屈強度は継手のない場合の約3分の2になる。

もし継手におけるボルト等の締めつけが不足するとこの効率は継手をヒンジとした場合に一層近づくであ

図-14



う。

またスパンの中央にヒンジの継手があれば、その座屈強度は、継手のないものの約3分の1に低下する。

もし継手を添接板等を用いて剛結に近いものにすれば座屈強度の低下は余りないと想像されるが、実用上どの程度の簡易構造まで差支えないかは、今後の研究に俟たなければならない。したがって現在最も多く用いられているこの種の継手をきりばりに設ける場合はその位置によりきりばりの座屈強度の低下を考えなければならない。その場合の効率は図-14または(16)式の値を用いればよいであろう。

また座屈強度の低下を考える場合でも、継手の位置はなるべく横材との交点に近い方がよい。

もし、きりばりの断面性能をフルに発揮したい場合には、より剛度の高い構造の継手を用いなければならない。

ジャッキについては実験数が少ないので詳しく述べていないが、単なる継手よりも一層強度が低下することはE型の実験からも明らかである。したがって、なるべくスパンの中間にジャッキを挿入しないこと、できたらきりばりの終端におくことが望ましい。もし止むを得ず中間に挿入する場合は、その効率が、この種の継手のさらに80%になることを覚悟しなければならない。