

II-26 ズレ止めの剛性について

東京都立大学 正夏 山本 稔

合成桁においては、その構成部材を普通 mechanical shear connector で連結して合成効果が發揮できるように工夫されているが、そのために shear connector は、接合面に生ずるせん断力の伝達と部材相互の分離の防止という2つの役割を果たさなければならない。しかし、mechanical shear connector の性質上、これらの役割は部材相互にズレを許すことによつて初めて果されるから、この種の合成桁は、眞の意味では不完全な合成桁であるといわざるを得ない。ただ部材相互の分離は、shear connector の形状の工夫によつて容易に防止されるし、かつ力学的挙動に影響が少ないので、普通せん断力の伝達のみが問題とされる。従つて、不完全合成桁としての力学的挙動は、接合面のせん断応力 τ とそこに生ずるズレ δ との関係によつて支配されるわけで、その理論的考察は、通常簡略化をはかるため τ を常数として

$$\tau = k\delta \quad (1)$$

が成立するものとして行なわれている。既に発表された Newmark 氏ならびに筆者の理論は、もちろんこの假定のもとに構成されたものである。

Illinois 大学の報告によれば、接合面のせん断応力とズレの関係は、push out test の荷重—ズレ曲線から求められることが例証されているし、筆者も不道重ねばりの実験（未発表）でこの事実を検証することができた。これは、push out test の荷重—ズレ曲線と桁の接合面のせん断応力—ズレ曲線との間にかなりの相似性が期待できるためであることは想像に難くないが、他に合成桁の力学的挙動がせん断応力—ズレ曲線にかなり鈍感な反応しか示さないことも大きな理由として挙げられよう。かくして push out test の荷重—ズレの関係から合成桁のせん断応力—ズレの関係がえられるとすれば、次の操作によつて、その目的が容易に達せられることが了解できる。すなわち、push out test の荷重から shear connector 1 個または 1 組当たりの分担荷重を求め、さらにこれを合成桁の接合面の幅 b および shear connector の平均間隔 s との積で除した値を τ とし、これと元の push out test の荷重に対応するズレ δ とを組合せれば、これが接合面のせん断応力—ズレ曲線となる。すると $\tau-\delta$ 曲線の間には、一般に式(1)の如き関係は成立せず、むしろ一般的には次のような関係式で表わされるものといえよう。

$$|\tau^n| = k|\delta| \quad n \geq 1 \quad (2)$$

しかし実用上の要求として、式(2)の関係を式(1)で置き換えることが望ましいわけであるから

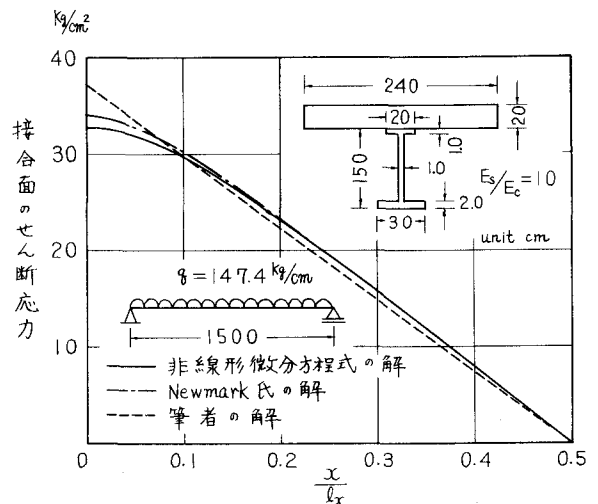


図-1

次にこの置換法について考察することにしよう。

合成桁としての一般性が失なわれないためと実用上の見地とから、ここに鉄筋コンクリートスラブおよび鋼桁からなる合成桁を採って考えることにする。そして接合面のせん断応力とズレとの関係は、式(2)で与えられるとし、かつ合成桁の各構成部材が初等梁理論に従うものと仮定すれば、一樣断面をもつ合成桁の鋼桁の断面力 N_s は

Newmark 氏の理論に従い次の如く展開できる。

$$\left| \frac{d}{dx} \left(\frac{d N_s}{dx} \frac{1}{b_u} \right) \right| = R' \left| \frac{b_u}{EA} \frac{EJ}{\Sigma EJ} \frac{N_s}{b_u} - \frac{MS}{\Sigma EJ} \right| \quad (3)$$

この微分方程式を一般的に解くことは至難であるから、

例を挙げて数値解を求め、

これによって検討することにした。

push out test の結果

から式(2)の n は、1~2

程度の値を採り得るも

のと判断できるので、計算に当って線形関係から最も離れた $n=2$ を採用することとし、なお合成桁としては図-1に示す如き断面と支向を送んだ。そしてここに一例として、接合面のせん断応力とズレとの関係に図-2の曲線を用い、かつ荷重として等分布荷重 $q=147.4 \text{ kg/cm}$ がの場合を解けば、接合面のせん断応力分布は、図-1の実線で示した曲線で与えられるし、また最大たわみおよび最大曲げ応力等は、上表に示す通りの値となる。

この解を式(1)の関係を用いて解いた Newmark 氏ならびに筆者の理論で置き換える一策として、桁の接合面に生ずる最大せん断応力とそれに対応するズレの比をもつて式(1)の係数 R' の値とする方法が考えられる。この方法の妥当なる理由として2つの推論があげられる。その一つは、接合面のズレはせん断応力の大きい処で当然大きいため、ここにおけるズレの状態が合成桁の変形ひいては応力状態に支配的影響をもつと考えられること、また他の一つは、前述したことではあるが、理論的研究から明らかのように、合成桁の力学的挙動は、 R' の値にかなり鋭感な反応しか示さないため、 R' の近似がかなり大まかなものであっても、実際にはさして問題が起らないことである。かかる置換法で計算した結果は、図-1または表に Newmark 氏および筆者の理論として示されている。これらの比較によって上の置換法の妥当なることが容易にうかがわれる。そしてここに例示した置換は、図-2から明らかのように、かなり極端な場合を示すこと、およびこの例に止まらず他の2, 3の例からも上の事実が検証されたことを考え合せると、一般に上の置換法は、次のように法則化できることが了承できよう。すなわち、式(1)の関係を用いて解かれた Newmark 氏あるいは筆者の合成桁理論の適用に当たり、その係数 R' は、合成桁の接合面に生ずる最大せん断応力とこれに対応する push out test の結果から得られるズレの比として定めれば良い。

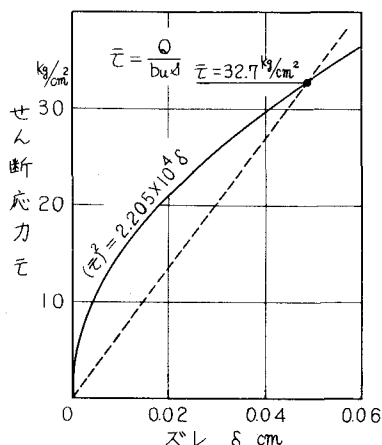


図-2

	支向中央のたわみ cm	接合面の最大せん断応力 kg/cm²	最大曲げ応力 kg/cm²	
			鋼桁下フランジ kg/cm²	スラブ上縁 kg/cm²
非線形微分方程式の解	2.35 (1100)	32.67 (1100)	2524 (1100)	78.9 (1100)
Newmark 氏の解	2.29 (97)	34.14 (104)	2510 (99)	79.0 (101)
筆者の解	2.15 (91)	37.38 (114)	2517 (100)	79.0 (101)

かくの如き考察により、一般に線形関係にない接合面のせん断応力とズレの間に線形関係を賦与することが可能になったので、ここで改めて式(1)をかかざる意味に拡張解釈することとし、その係数を合成桁の接合面の単位面積当たりのズレ常数、略して接合面のズレ常数と定義する。一方、push out test における shear connector 1個ないし1組の荷重 Q と合成桁の接合面のせん断応力との間には

$$Q = bu \delta \tau \quad (4)$$

の関係があるから、接合面の幅と shear connector の平均間隔が定まれば、両者の関係は容易に求められる。従って、shear connector 相互の力学的性質を調べるには、同一の shear connector でも bu や δ の値とともに変る接合面のズレ常数 R' で調べるより、むしろ式(1)に $bu \delta$ を乗じて

$$Q = bu \delta R' \delta = K \delta \quad \text{ここに} \quad K = bu \delta R' \quad (5)$$

なる関係に直し、shear connector 1個ないし1組当たりの荷重—ズレ曲線から係数 K を論じた方が便利である。筆者はこの係数 K を shear connector のズレ常数と定義して使用したいと考えている。

shear connector の剛性は、上に定義した接合面のズレ常数で表わされると考えてよいから、次にこのズレ常数の変化、すなわち剛性の変化によって、鉄筋コンクリートスラブおよび鋼桁から成る合成桁橋の曲げの性質が如何に変るが調査することにする。ここに合成桁橋の曲げと接合面のズレ常数との関係は

(1) 鉄筋コンクリートスラブの有効幅 (2) 合成桁の断面二次モーメントの効率の2項目で示されるとして、これら2点に問題をしぼって考察することにする。それは、(1)が合成桁橋の曲げ問題に初等梁理論を適用するための有力なる手段であるし、一方(2)は、(1)において定められた有効幅をもつ合成桁を対象に送れば、これによって合成桁の曲げ問題を解明できることがわかっているばかりでなく、接合具として使用した shear connector の剛性の判定にも直接役立つと考えられるからである。

筆者によって解析された不完全合成桁橋の曲げ理論(未発表)と同じく筆者によって求められた合成桁理論(土木学会論文集 1960.3)とから、同一の接合面のズレ常数 R' の値をパラメーターとして、図-3の合成桁橋について有効幅と支間との関係を求めると、同図の①、②および③で示される実線が得られる。ここにズレ常数 R' は、無次元の量とするため $bu R' / E_s$ の形で示されている。またこの量は、合成桁の単位長さ当たりのズレ常数をヤング率 E_s を単位として表わしたものと考えられるので、新たに $bu R'$ ないし $bu R' / E_s$ を合成桁のズレ常数と定義して前二者の定義と区別することにする。図-3から $bu R' / E_s$ が 0.01~ ∞ の範囲においては有効幅がほぼ同一であるといえる。一方、 $R' \rightarrow \infty$ における種々の合成桁橋の数値計算結果から、その有効幅は、普通一般に実用されるが如き合成桁橋では、その断面寸法に關係のないことが明らかである。従って、これと図-3の例とを考慮合せるならば、普通一般に使用される合成桁橋の有効幅は、 $bu R' / E_s = 0.01 \sim \infty$ の範囲においてほぼ同一であると推察できよう。しかし一方では、不完全合成桁橋の有効幅を $bu R' / E_s \rightarrow \infty$ と假想した合成桁のスラブ幅で示す方法が考えられるが、これは不完全合成桁橋を直接完全合成桁で置き換えることになり、設計上の便利さから見て、有力な有効幅の表示法と考えられる。図-3の破線

で示した④，⑤の曲線は，かかる考えのもとに求めた合成桁橋の $\frac{buR'}{E_s}$ が 0.1 と 0.01 に対応する有効幅である。この考えによれば，有効幅が合成桁のズレ常数の値によつてはかなり小さくなることもあるから，注意しなければならない。

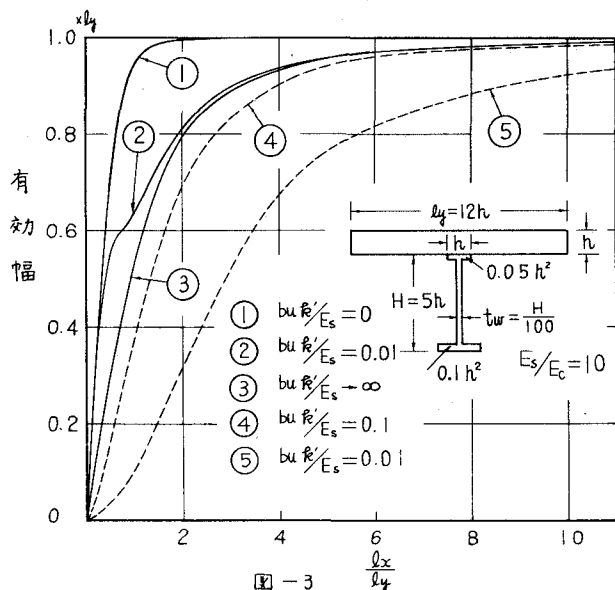


図-3

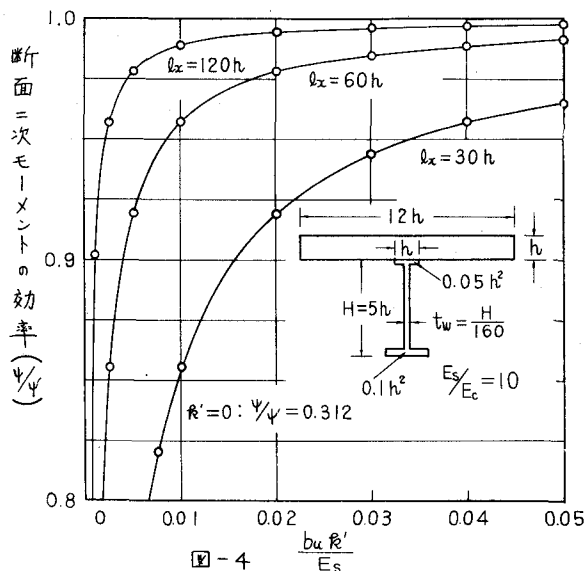


図-4

図-4は，同図に示す合成桁を例として，筆者の理論による断面二次モーメントの効率と $\frac{buR'}{E_s}$ との関係を支間をパラメーターとして示したものである。不完全合成桁においては，接合面に生ずるズレのため，変形が接合面にズレを許さない完全合成桁のそれに比して増大し，あたかも断面二次モーメントが減少したのと同じと考えられるので，その減少の割合を示すのに両者の比をとつて，ここに断面二次モーメントの効率と定義したわけである。これは，既に木構造において実験データを処理するためにしばしば利用されてきた概念である。図から $\frac{l_x}{l_y} \geq 120$ ($\frac{l_x}{l_y} \geq 10$) においては $\frac{buR'}{E_s} \geq 0.01$ ， $\frac{l_x}{l_y} \geq 60$ ($\frac{l_x}{l_y} \geq 5$) においては $\frac{buR'}{E_s} \geq 0.02$ で，効率がほぼ一定値となる。従つて，合成桁のズレ常数は，これらの値より大きくする必要はないわけであつて，この種の値は，shear connector の剛性の適否を判定するために重要な役割りを果たすることになる。

以上の考察から結論づけられることは

(1) 筆者の合成桁理論を設計に利用すれば， $\frac{buR'}{E_s} \geq 0.01$ において有効幅は，その $R' \rightarrow \infty$ の場合にほぼ一致する。そしてこの有効幅は，現行の合成桁設計施工指針のそれにほぼ一致している。次に合成桁の設計においては，図-4 から明らかなように， $\frac{buR'}{E_s}$ にある値（ほぼ 0.01～0.02 と推定される。）を与えれば，合成効果を最も能率よく発揮させることができる。

(2) 図-3の破線で示したような有効幅を使用すれば，不完全合成桁は，総て完全合成桁として設計できる。しかし(1)の考察から， $\frac{buR'}{E_s}$ のある値を境として有効幅が急激に減少することがわかるので， $\frac{buR'}{E_s}$ には下の限界（ほぼ 0.01～0.02）を設けることが望ましい。

終りに式(3)は東大生研中一部渡辺助教教授をお願いして解いていただいた。また数値計算に際して本学学生今田、今津、正木、大島の諸君の援助を受けた。記して感謝にかえたい。