

(23) アメリカにおける合成げた橋結合部の設計

極東工業 (株) 正会員 ○ 山根隆志

1. はじめに

PC 合成げた橋は中規模径間の橋梁において、合理的かつ経済的な構造の一つとして日本やアメリカで多く建設されている。本稿では、アメリカにおけるPC合成げた橋の結合部の設計方法を紹介し、道路橋示方書と比較する。

現行の道路橋示方書では、ずれ止め鉄筋量とコンクリート強度をパラメーターとした許容応力度を規定し、ずれ止めの最小鉄筋量を結合面に対して0.2%と定めている。この規定によると、一般に合成げた端部付近の結合面には多量のずれ止め鉄筋を配置しなければならず、これらが床版鉄筋と交錯して施工性低下の原因となる場合がある。また、構造の合理化などを考えてPCげたの上フランジを広くすると、結合面の付着による水平せん断抵抗が増すにもかかわらず、ずれ止め鉄筋も増やさなければならない。

これらの点において、アメリカでは合理的な設計方法を取り入れている。とくに、最小鉄筋量の規定や、許容応力度の推定式は日本と大きな違いがある。以下に、アメリカでPC合成げたの床版結合部の設計法の基礎となっている「せん断摩擦理論 (Shear-friction Theory)」について述べ、日米の設計方法の違いについて考察する。

2. せん断摩擦理論 (Shear-friction Theory)

プレキャストPCげたと場所打ち床版の結合面に水平せん断力が作用すると、結合面が平滑でないため一方の部材が結合面の不陸に乗り上げようとして結合面に直交する分力が発生する (図-1 参照)。さらに、結合面にひびわれが発生しそれが開こうとすると、結合面直角方向に配置された鉄筋には引っ張り力 T_s が生じる。そして、その反力として結合面には圧縮応力 T_s/A_c が生じ、その圧縮応力に摩擦係数 μ を乗じたものがせん断抵抗応力となる。これらのことからわかるように、最終的には鉄筋が降伏して伸びが増大し、部材が結合面の不陸を乗り越えせん断抵抗を失う。したがって、結合面におけるせん断抵抗は結合面に配置されたずれ止め鉄筋量と結合面の状態に依存することになる。

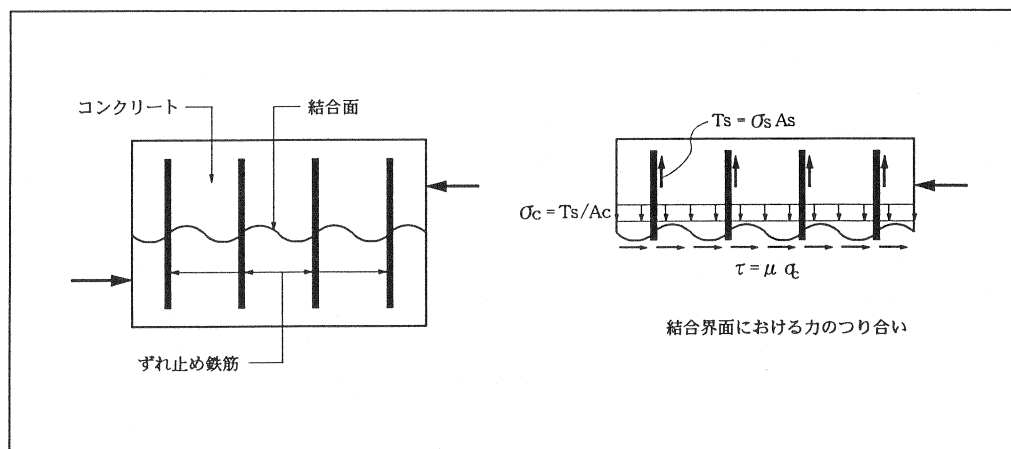


図-1 せん断摩擦理論のメカニズム

3. 米国における合成げた橋結合部の設計

アメリカにおける道路橋の設計基準には現在、許容応力度法と荷重係数・強度低減係数設計法があり、前者から後者への移行が進められている。また、両者とも前項で述べたせん断摩擦理論を基礎としている。以下にこれら2種類の設計基準による結合部の許容水平せん断応力度あるいは抵抗水平せん断力について概説する。

3-1. 許容応力度法 (WSD)

許容応力度法による許容せん断応力度は次式により算出する。

結合面を粗面仕上げしない場合

$$\tau_{ba} = 2.5 + 540(\rho - 0.0012)$$

結合面を粗面仕上げする場合

$$\tau_{ba} = 11.3 + 540(\rho - 0.0012)$$

ここに、 ρ : 結合面におけるずれ止め鉄筋の鉄筋比

$$\rho_{\min} = 0.0012 (0.12\%)$$

3-2. 荷重係数・強度低減係数設計法 (LRFD)

結合面における見かけの抵抗せん断力は次式により算出する。

$$V_n = cA_{cv} + \mu A_{vf}$$

また、せん断抵抗は、 $0.2f_c'A_{cv}$ かつ $5.5A_{cv}$ を下まわってはならない。

ここに、

V_n : 見かけのせん断抵抗

A_{cv} : せん断抵抗面の面積(mm²)

A_{vf} : ずれ止め鉄筋の断面積(mm²)

f_y : ずれ止め鉄筋の降伏点応力度 (MPa)

c : 付着係数

粗面仕上げをする場合 ----- $c = 0.52\text{Mpa}$

粗面仕上げをしない場合 --- $c = 0.7\text{Mpa}$

μ : 結合面の摩擦係数

粗面仕上げをする場合 ----- $\mu = 1.0$

粗面仕上げをしない場合 --- $\mu = 0.6$

4. 日米の設計法の比較

4-1 水平せん断応力度の推定式

荷重による水平せん断応力度の算定式は以下に示すように日本、アメリカで多少異なる。しかし、両者とも弾性理論にもとづいており、計算結果も大きな差はない。

AASHTO(許容応力度法) $\tau = S / (b \cdot d)$

道路橋示方書 $\tau = S \cdot Q / (b \cdot I)$

ここに、 S : けた断面に作用する設計せん断力

b : けたと床版の合成面における橋軸直角方向の幅

d : 合成断面の有効高

Q : 合成断面の図心軸に関する床版の断面一次モーメント

I : 合成断面の図心軸に関する断面二次モーメント

4-2 許容水平せん断応力度

コンクリートの設計基準強度を 300 kgf/cm^2 、ずれ止め鉄筋の降伏点強度を 3000 kgf/cm^2 、単位を kgf/cm^2 にそろえて各種設計基準による許容せん断応力度を一般化した。AASHTOの荷重・強度低減係数設計法は比較のため、(荷重係数)/(強度低減係数)を安全率として見かけの抵抗せん断力を低減し、結合面の面積で除した。各設計基準による許容応力度は次のようになる。

AASHTO(許容応力度法)

粗面仕上げをする $\tau_{ba} = 2.5 + 540(\rho - 0.0012)$

粗面仕上げをしない $\tau_{ba} = 11.3 + 540(\rho - 0.0012)$

AASHTO(荷重係数・強度低減係数設計法)

粗面仕上げをする $\tau_{ba} = 4.8 + 2000 \rho$

道路橋示方書

$\tau_{ba} = 3.8 + 658 \rho$

これらをまとめて、鉄筋比と許容応力度の関係であらわすと図-2のようになる。

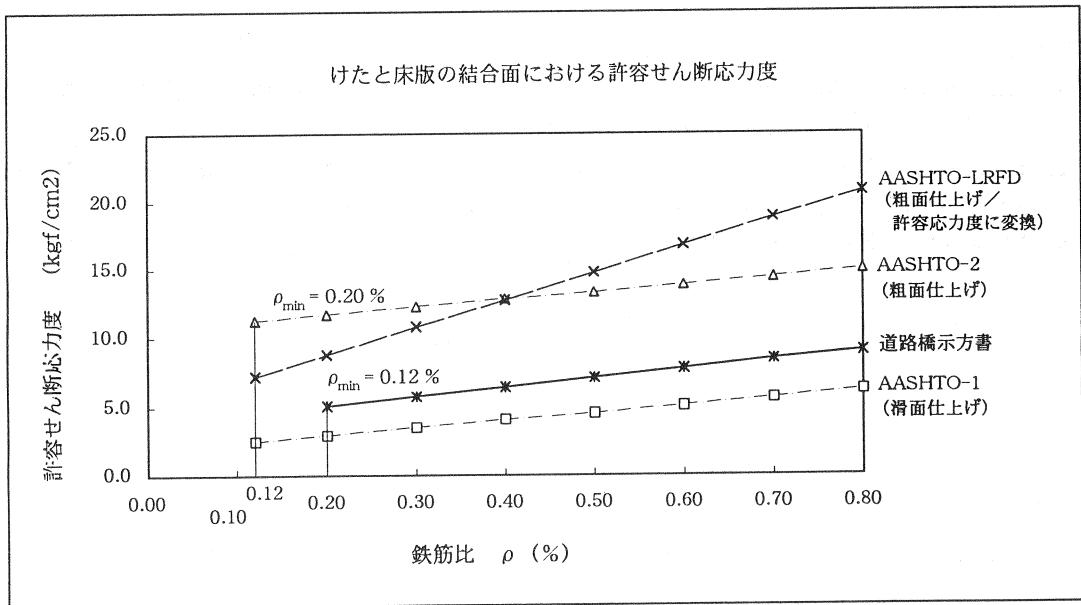


図-2 日米における許容水平せん断応力度の比較

AASHTO(許容応力度法)では、平滑に仕上げた場合と粗面仕上げをした場合の水平せん断応力度は図-2のように大きく異なる。これはせん断摩擦理論に基づくもので、粗面仕上げした結合面ではその不陸におたがいが乗り上げようとして鉄筋の応力が増加しせん断抵抗も増すが、平滑に仕上げた結合面では鉄筋の応力増加が小さい段階でずれが生じてしまう。

さらに、図-2をみてわかるように、道路橋示方書とAASHTO(許容応力度法)ではずれ止め鉄筋量の増加に伴う許容水平せん断応力度の増加の度合は、ほぼ同じである。しかしながら、道路橋示方書では結合面の状態によるせん断抵抗の違いを考慮するパラメーターがない。したがって、粗面仕上げをした結合面に

0.2%のずれ止め鉄筋を配置した場合の許容せん断応力度は、AASHTO(許容応力度法)では道路橋示方書の2倍以上となる。

また、AASHTO(荷重係数・強度低減係数設計法)では、道路橋示方書やAASHTO(許容応力度法)にくらべて、ずれ止め鉄筋量の増加に伴う許容せん断応力度の増加の度合いが大きい。これは最新の実験結果などに基づいたものである。

5. まとめ

せん断摩擦理論と米国における合成げた結合面の設計法を紹介した。結合面を粗面仕上げして同一のずれ止め鉄筋量を配置した場合、米国の基準では日本の基準に比べ、許容水平せん断応力度が2倍以上となる。現在、日本でも合成げたの天端はホウキ目を入れたり、木ゴテで押さえる程度に仕上げるなど、粗面仕上げにすることが常識となっている。したがって、日本においても適切な実験を行ってせん断摩擦の効果を確認できれば合成げたと場所打ち床版の完全な結合を得るための必要鉄筋量を小さくすることが可能だと思われる。

本稿の内容は建設省土木研究所とプレストレストコンクリート建設業協会のコンクリート橋省力化共同研究委員会のなかで議論したものである。

参考文献

- [1] 「Aggregate Interlock Effect (骨材のかみ合い効果)」コンクリートの力学特性に関する調査報告書, コンクリートライブラリー69, 土木学会, pp25-36
- [2] Standard Specifications for Highway Bridges, Fifteenth Edition, AASHTO, Washington D.C., 1992.
- [3] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, AASHTO, Washington D.C., 1992.
- [4] 道路橋示方書, 日本道路協会, 1996.