

鋼連続合成桁の設計の定式化に向けて

新日本技研(株)・西部支社 設計部 ○川平 英史 ， 同・東京支社 設計部 石澤 俊希
同・東京支社 設計部 加藤 浩一 ， 同・本社・技術本部長 梶田 順一

1. はじめに

鋼合成桁は、RC床版に床作用のみならず主桁作用も担わせた合理的かつ経済的な構造である。我国における合成桁の設計規準は昭和34年に単純桁を対象として初めて制定され、昭和40年に連続桁の規定へ発展した。ただし中間支点上の床版のひび割れを許容しない“プレストレスする連続合成桁”が対象であり、主として支点の上げ下げによりプレストレスする方式のため現場工数の増加と不安定な作業を伴った。そこで昭和48年の道示で“プレストレスしない連続合成桁”の規定が設けられたが、既に多数のRC床版で損傷が始まっていた。その原因は戦後復興期の競争設計により過度に薄い床版を多用したことと配筋不足にあり、それに自動車交通の増大と重量化が拍車をかけたものである。この結果、床版が主桁作用の一部を担う合成桁の建設は抑制され、以降技術的検討も停滞し、合成桁の規定は昭和48年当時から実質的には何も変わっていない。

この間に欧米は限界状態設計法へ移行し、RCの引張域剛性モデルをもとにひび割れによる剛性低下を考慮し、ひび割れ幅照査も組入れている。このような状況から、JH(現 Nexco)は道示に代わる連続合成桁の規定を10数年前から検討してきた。しかし、合成桁では非合成桁の延長線上で扱えないことが多く、いまだ課題を残していると見受けられる。ここでは連続合成桁形式の設計の定式化に向けて方向性を探るために、その固有事項を列挙して考察する。

2. 鋼連続合成桁(合成部材)特有の事象

(1) 構造解析と部材軸線 非合成部材の解析では一般に中立軸を座標軸(基準線)とし、軸変位とたわみが連成しない部材剛性行列を用いる。これに対し合成部材(要素)では施工段階ごとに、また時間の経過に連れて断面性能が変わるため、中立軸

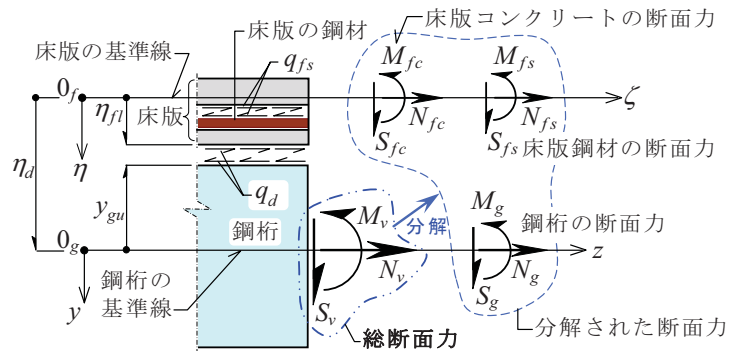


図-1 解析の基準線と断面力の分解

を軸線として立式すると断面性能が変化する度に座標軸を組み直さなければならず、扱いが非常に煩雑になる。このため、断面1次モーメントがゼロにならず、また部材の剛性行列で軸変位とたわみの連成項が現れるが、一定の座標系のもとで計算を遂行する方式を著者等は採用している^{1),2)}。例えば、連続桁であれば図-1のように床版と鋼桁の基準線を全長に亘り一定とし、合成前も合成後も同一座標のもとで計算している。

(2) 分担断面力 合成部材断面は上記のように性能が変わるので、総断面力を加算しても結果から応力を算定できず、総断面力を分担断面力(鋼桁・床版コンクリート・床版鋼材の断面力、ジベルのせん断応力、床版鋼材の付着力など)に分解すると、それぞれで加算が可能になり、設計計算で有効に利用できる²⁾。また、部材両端の分担断面力を用いて床版コンクリートの断面力を3次式で補間でき、精度の高いクリープ応力計算やひび割れ区間のコンクリート応力解放計算が可能になる。

(3) 床版中の鋼材 道示Ⅱでは床版鋼材の影響は小さく無視してよいと記しているが、昭和48年当時に比べると床版中の橋軸方向鉄筋(配筋)は大幅に増加しており、また橋軸方向の鋼材を主鋼材とする縦置き形式の床版もあり、床版鋼材を無視することは必ずしも適切でない。例えば、床版鋼材比が $p=0.01$ であると乾燥収縮による不静定反力は約20%余減少し、鋼材比がより高い縦置き床版²⁾の場合は30%弱減少する。

(4) 床版コンクリートの区分打設と引張応力照査 現場の状況に応じて床版コンクリートの打設計画を無理なく立てることが重要である。その際、打設済みの床版に過大な引張応力を与えないことを照査する。また、打設計画は後の床版コンクリートのひび割れ幅照査にも影響することを留意しておかなければならない。

(5) 計算手順 連続合成桁では、施工途上での応力照査が必要である。したがって、図-2に示す施工手順に従い、かつ日程も仮定してコンクリート剛性を評価し、応力照査を行いながら計算を進める必要がある。

(6) ひび割れ区間の設定 後死荷重と活荷重、およびクリープ・乾燥収縮や温度差応力により中間支点部床版のひび割れは避けられない。ひび割れ区間は、中間支点の片側に付き支間長 L の $0.15L$ 範囲と定式化されている。

(7) ひび割れ区間の応力解放 ひび割れに伴いコンクリート応力は解放され、全体的に応力が再分配されるので、応力解放計算を挟み込む必要があり(図-2)、これ以降は中間支点部コンクリートを無効とする。

なお、ひび割れに伴うコンクリートの応力解放計算はクリープ応力の計算ルーチンを用いて行うことができる³⁾。

(8) ひび割れ幅の算定と荷重の組合せ係数 床版コンクリートを良好な状態に保つために、環境条件に応じてひび割れ幅を制限する必要がある⁴⁾。

RC床版のひび割れ幅の算定法は欧州規準⁵⁾に示されているが、我国では標準示方書⁴⁾にある一般RC部材に対する式を床版にも適用しており、欧州規準よりも幾分大きめの値を与える。また、ひび割れ幅算定時の荷重の組合せ係数に関しては、我国では中菌らの検討⁶⁾しかないが、表-1に示すように活荷重と温度差応力に対して欧州規準⁷⁾との開きが大きい。

(9) 床版の有効幅 床版の有効幅は荷重種別や荷重位置によって変わる。死荷重と活荷重でも厳密には有効幅は異なる。また、死・活荷重と乾燥収縮や温度差の有効幅は大きく異なる。しかし、一般に死・活荷重に対する有効幅を全てに適用している。これに関し数値的検証と整理が必要と思われる。

(10) クリープ・乾燥収縮応力の計算法 コンクリートのクリープの扱いは、遅れ弾性クリープを考慮したTrostの計算法に世界的に改められている。これに対し道示IIは古い計算法のままである。鋼連続合成桁のクリープ応力は無視しうるほど小さいが、正しい計算表記を行うべきであろう。一方、乾燥収縮応力はある程度断面設計に影響し、また乾燥収縮度は世界的に大きめの値に改められている。PC桁を含め、クリープ・乾燥収縮応力の計算法は再構築が求められる。

(11) 抵抗応力図 合成桁の鋼桁の抵抗応力図は、正しくは抵抗核モーメント図でなければならない。総断面力として軸力が作用していなくても、鋼桁の分担断面力では軸力が存在するからである。また、非合成桁と違って、合成桁では上・下縁の最大応力が同一点に発生するとは限らない。これに対して、非合成桁と同じように抵抗曲げモーメント図の表現を用い、上・下縁の最大応力は同一点とする設計例をしばしば見かける。

(12) 水平補剛材配置 道示IIに非合成桁における水平補剛材の配置が示されているが、合成桁の腹板上の応力分布は一律に規定できず、設計の都度計算で算定するしかない。同一板厚・板幅比でも非合成桁よりも水平補剛材の段数が増加する場合は往々にしてある⁸⁾。

3. まとめ

我国において対応が遅れている鋼合成桁の設計法に関して記述した。また市販の設計プログラムの中には解析軸や有効幅の扱い等で構造力学の基本を侵害し、結果に影響するものがあることを注記しておく。より問題であるのは、このことをいまだに多くの者が気付かずに日常の設計や数値検討に適用していることである。将来的には限界状態設計法への移行も考えられる中で積み残している課題の早期な検討が望まれる。

【参考文献】1) 倉方・他：不完全合成桁の解析，新日本技研(株)・技報(ホームページで公開)，平成9年3月
 2) 高濱・他：縦置きI形鋼格子床版の設計概要と施工時荷重の検討，第6回床版シンポジウム，平成20年6月
 3) 倉方・他：合成桁における分担断面力とその応用，新日本技研(株)・技報(ホームページで公開)，平成10年6月
 4) 土木学会：コンクリート標準示方書・構造性能照査編 2002
 5) Eurocode 4 : Design of composite steel and concrete structures—Part 2:Composite bridges, DD ENV 1994-2:2001
 6) 中菌・他：PC床版を有する鋼連続合成2主桁橋の設計法(上)，橋梁と基礎，2002.3
 7) DIN-Fachbericht 104 Verbundbrücken，2003
 8) 平井・他：鋼合成桁の腹板設計に関する一考察，第28回日本道路会議，平成21年10月

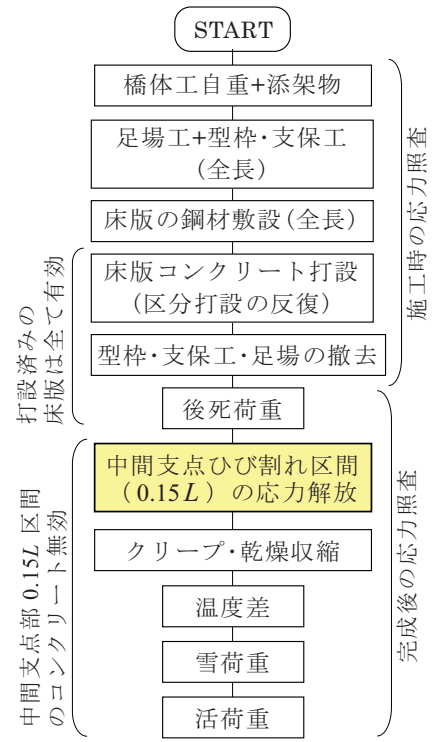


図-2 断面力の計算手順

表-1 荷重の組合せ係数 (ひび割れ幅照査用)

		中菌等	DIN FB 104
荷重種別	死荷重	1.00	1.00
	L荷重	0.60	0.75
	群集荷重	---	0.40
	雪荷重	---	0.00
	クリープ	1.00	1.00
	乾燥収縮	1.00	1.00
	温度差	0.00	0.60