

論文 鉄骨部材と溶接された鋼製プレートで鉄筋コンクリート区間を強化した埋込み形式の複合構造梁の剛性評価手法の拡張解釈

佐藤 良介^{*1}・小澤 潤治^{*2}・中田 寛二^{*3}

要旨: 本論文は、「鉄筋コンクリート区間と鉄骨区間の境界に鋼製プレートを配し、これを鉄筋コンクリート区間の主筋とナット接合、鉄骨部材と溶接接合した埋込み形式の複合構造梁」の剛性評価に関するものである。既に提案され、相応の妥当性が認められている本複合構造梁の剛性評価手法について、水平荷重のみに限定されていたその設計対応の対象を、従来手法を踏襲しながら鉛直荷重にまで拡張するため、「部材剛性」ではなく「曲げ剛性」に立脚して剛性を評価するアプローチが、その活用例も併せて呈示されている。

キーワード: 複合構造梁, 埋込み形式, 曲げ剛性, 部材弾性剛性, 寄り掛かりモデル

1. はじめに

埋込み形式の複合構造梁は、**図-1**に示すようなクリアスパン L の梁を、材端部を鉄筋コンクリート（以下、RC と略記）造で、中央部を鉄骨（以下、S と略記）造で構成して架けるに際し、S 部材を RC 区間に埋込むことでコンクリートと鋼の応力伝達を確保する「直列的な接合部」を有する鋼コンクリート合成構造である¹⁾。著者らはこれまで、この埋込み形式の複合構造梁について、材端の RC 区間と中央の S 区間の境界に鋼製プレート（以下、境界プレートと称する）を配し、これを RC 区間の主筋とナット接合、S 部材と溶接接合することでその構造性能を向上させられることを既報²⁾にて実験的に明らかにし、またこれを設計実務に供するうえで不可欠となる部材剛性の評価手法を、汎用一貫構造設計プログラム（以後、「汎用プログラム」と略記する）への導入を前提に前報³⁾にて提案した。

本手法³⁾は、その計算値と実験値との適合性から相応の妥当性を有するものと考えられるが、その構成上、設計対応の対象が地震時荷重等の水平荷重に限定されており、たとえば積載荷重等による鉛直荷重の評価はできないのが現状である。すなわち、前報³⁾の評価手法は、精度こそ比較的良好な結果を示しているものの、設計実務への対応環境の観点からは若干の整備の余地が残されている状況にある。

本論文は、以上を踏まえ、前報³⁾にて提案された「境界プレートを有する埋込み形式の複合構造梁の部材剛性の評価手法」をさらに発展させ、既に整っている設計環境の保持を前提としたその適用範囲の拡張を、活用例の呈示と併せて試みるものである。なお本論文における論述に用いられる各記号は、特に断りのない限り鉄筋コンクリート構造計算規準⁴⁾（以下、RC 規準と略記）に準拠するものとする。

2. 本複合構造梁およびその部材剛性評価手法の概要

「本複合構造梁の部材剛性の評価手法の発展」に先立ち、この試みにあたって解決すべき課題を明らかにするために、本複合構造梁の構成の詳細²⁾をはじめ、その部材剛性の評価手法³⁾の概要等、これまでに展開してきた過程を概括しておく。

2.1 本複合構造梁の構成

図-2に、既報²⁾でその有用性が確認された本複合構造梁の接合部近傍の詳細を示す。この図は、**図-1**の埋込み形式の複合構造梁の左端近傍を模式化して片持ち形式の本複合構造梁として例示したものである。本複合構造梁は、この図に示すように RC 区間と S 区間の境界に鋼製の境界プレートを配し、これを RC 区間の主筋とナット接合、S 部材と溶接接合によって一体化した埋込み形式の複合構造梁であり、既報²⁾において同図に示すように自由端に集中荷重 Q を作用させた構造実験を行い、「境界プレートのない既往の埋込み形式の複合構造梁が RC

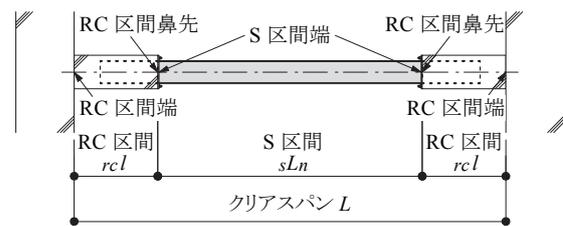


図-1 埋込み形式の複合構造梁の全景

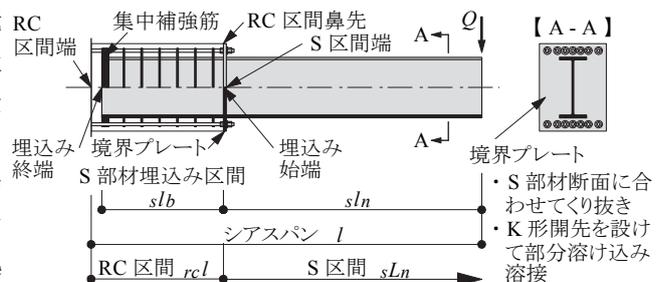


図-2 本複合構造梁の接合部近傍

*1 東急建設（株） 技術研究所 博士（工学）（正会員）
 *2 東急建設（株） 技術研究所 工修
 *3 東急建設（株） 技術研究所 修士（工学）（正会員）

区間のせん断破壊に到るような条件下でもこれを回避できる」との結果が得られたものである。本論文では以後、同図に見るように、本複合構造梁の RC 区間小口位置を「RC 区間鼻先」、RC 区間の柱フェイス位置を「RC 区間端」、RC 区間と S 区間の境界位置を「S 区間端」と呼称する。また S 部材が RC 区間に埋め込まれている部位を「埋込み区間」と称し、そのうちの RC 区間鼻先側を「始端」、RC 区間端側を「終端」と定義する。更に本論文では、本複合構造梁を構成するコンクリートと S 部材の弾性係数をそれぞれ E_c, E_s と、また RC 区間と S 部材の断面 2 次モーメントをそれぞれ I_c, I_s と表現する。 I_c は有筋の場合の等価断面 2 次モーメント⁴⁾であり、S 部材による断面の欠損を考慮せずに求められるものとする。

2.2 本複合構造梁の部材剛性を評価するための評価モデル

図-3 上段に、前報³⁾にて図-2 に掲げた本複合構造梁の部材剛性を評価するために構築された評価モデルを示す。本評価モデルは、本複合構造梁の構造設計を汎用プログラムを用いて実施することを前提に構築されたものであり、一般的な汎用プログラムの入力方式との親和性を高めるために、本複合構造梁を、「部材弾性剛性 I_c の RC 造梁と部材弾性剛性 I_s の S 造梁を部材弾性剛性 I_r の曲げバネで結合したもの」に置換した形態をしている。この評価モデルを成す 3 種の構成要素の物理的な意味に関しては後述するが、それぞれの構成要素は、本複合構造梁の自由端に与えられる集中荷重 Q に対してたわみ $\delta_c, \delta_r, \delta_s$ を与え、それらを重ね合わせて得られる $\delta = \delta_c + \delta_r + \delta_s$ が全体的な自由端たわみとなるように各々の部材弾性剛性が定式化されている³⁾。

2.3 本複合構造梁の部材剛性評価手法と残された課題

前報³⁾にて提案した部材剛性の評価手法は、上述の評価モデルの各構成要素にそれぞれの部材弾性剛性を基にした非線形性を与え、相互の挙動を重ね合わせることで本複合構造梁の骨格曲線を非線形域まで同定するものであり、

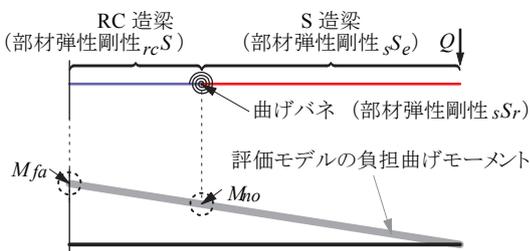


図-3 本複合構造梁の評価モデルとその曲げモーメント分布

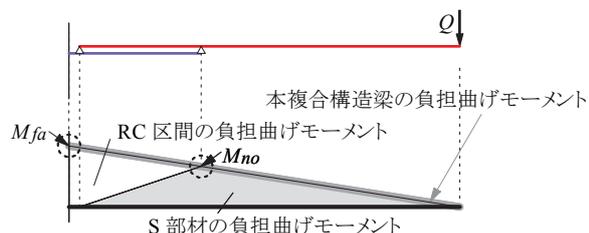


図-4 本複合構造梁の寄り掛かりモデルとその曲げモーメント分布

その実験値との対応³⁾から、相応の妥当性のもとに Q の漸増に対する δ の応答値を予測し得るものと考えられる。

しかしながらここで留意すべきは、本評価手法の基幹を成す評価モデルが、図-3 上段に示すような「自由端に集中荷重が作用する片持ち形式の場合」のみを対象に構築されており、それ故その部材弾性剛性も、同様に対象を限定された状態で定式化されている点にある。このような定式化は、たとえば地震時荷重のような水平荷重に対する設計のみを想定すれば充分実用に耐え得るものであるが、本複合構造梁を採用した実際の構造設計は通常、図-1 のように両端に RC 区間が配された状態で、かつ水平荷重のみならず積載荷重等の鉛直荷重も作用することを想定して行われる。換言すれば、本評価手法³⁾は、汎用プログラムへの適用を意図して導入された評価モデルを端緒としているものの、いまだ実務上の運用環境が十分に整っていないと言いき難い状況にあり、水平荷重に特化して定式化された前報³⁾の提案には、真に構造設計の実務に供するため解決すべき課題が残されていたことになる。

3. 評価モデルを用いた部材剛性評価手法の拡張解釈

前報³⁾に示した部材剛性の評価手法に残された課題を解決するに際しては、当該手法³⁾を踏襲しながら鉛直荷重の評価等にも対応できるような解決を図ることが、既に整備されている設計環境を活用する意味でも望ましい。

そこで本論文では、既存の部材弾性剛性の活用を保持しながらこの課題を解決するために、まずは前報³⁾の評価手法の中核を成す評価モデルについて、その導出過程にまで立ち戻って部材弾性剛性の物理的な意味に再解釈を加え、鉛直荷重への設計対応のための新たな評価アプローチを拡張的に導出することを試みる。

3.1 評価モデルの本質

既に述べたように、前報³⁾にて示した図-3 上段の評価モデルは、その構築の帰着点として汎用プログラムへの導入を設定し、本複合構造梁が、「RC 区間に相当する部材弾性剛性 I_c の RC 造梁、S 区間に相当する部材弾性剛性 I_s の S 造梁を部材弾性剛性 I_r の曲げバネで結合したもの」に置換された形態をしているが、この置換過程の源流にある本来の姿は、埋込み形式の複合構造梁とほぼ同一の構成を有する S 造根巻き柱脚の力学モデルである「寄り掛かりモデル⁵⁾」にある。

図-4 上段に、図-2 に示した「自由端に集中荷重 Q を受ける片持ち形式の本複合構造梁」を、寄り掛かりモデル⁵⁾に準じてモデル化して例示する。寄り掛かりモデルは、「この種の構造に配される S 部材は、埋込み区間の始端と終端のピンを介して RC 区間と接合される」と解釈して S 部材と RC 区間の応力伝達の表現を試みる力学モデルである⁵⁾。同図-4 下段に示すのはこの系に生じる曲げモーメント分

布であるが、この図が、埋込み形式の複合構造梁について体系的にまとめられている既往の文献¹⁾が示すそれとの一致を見ていることから、この力学モデルを埋込み形式の複合構造梁に適用することは妥当と考えられる。なお以後、この図に示すように、RC 区間端、RC 区間鼻先に作用する曲げモーメントを M_{fa} ならびに M_{no} と呼称する。

図-5 は、この寄り掛かりモデルに生じる弾性たわみを初等梁理論に基づいて解いた結果を図示したものであるが、この図に示すように、本複合構造梁に生じる自由端位置の弾性たわみ δ は、RC 区間の成分 $rc\delta$ と S 部材の成分 $s\delta$ とに分離することができる。RC 区間の成分 $rc\delta$ は、図-5 を構成する RC 区間のみを抜粋して詳細に描いた図-6 の系を解くことで求められるものであり、その値を自由端に作用する集中荷重 Q との関係として表現すると、式(1)のようになる。

$$Q = \frac{6cE_{rc}I_e}{2rcI^3 + 3rcI^2sln - slb^2sln} rc\delta \quad (1)$$

前掲図-2 に示すように、 rcI は RC 区間の長さ、 slb は S 部材埋込み区間の長さ、 sln は、梁全体のシアスパンのうち、S 部材が露出している区間の長さである。

一方 S 部材の成分 $s\delta$ は、本複合構造梁の S 部材が「RC 区間の主筋とナット接合された境界プレートと RC 区間鼻先において溶接で一体化されている」ことから、次の図-7 に示すように、RC 区間鼻先位置のピンにて RC 区間との連続条件を満たすと仮定することで求めることができる³⁾。このとき、この S 部材の成分 $s\delta$ が、図-8 に示す通り「S 部材の剛体回転による弾性たわみ、 $s\delta_r$ 」と「S 部材の弾性たわみ、 $s\delta_e$ 」とに分解できる⁶⁾ ことに着目すれば、「集中荷重 Q と S 部材の剛体回転による弾性たわみ $s\delta_r$ 」および「集中荷重 Q と S 部材の弾性たわみ $s\delta_e$ 」の構成式を、式(2)および式(3)と表現できる。

$$Q = \frac{2cE_{rc}I_e}{rcI^2sln + 2rcIsln^2 - slb^2sln^2} s\delta_r \quad (2)$$

$$Q = \frac{3sE_sI}{sln^3} s\delta_e \quad (3)$$

以上より、本複合構造梁の自由端に集中荷重 Q が作用



図-5 寄り掛かりモデルに生じる弾性たわみ

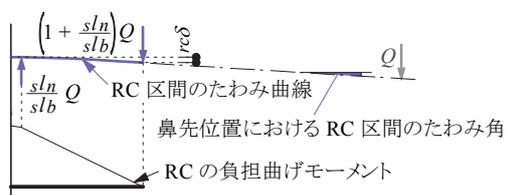


図-6 RC 区間の弾性たわみと曲げモーメント分布の詳細

した際の自由端における弾性たわみ δ を、式(1)～式(3)の重ね合わせとして得られることになる。

ここで、これらの式がいずれも「自由端に作用する集中荷重 Q と弾性たわみの関係」として表現されていることを、「一般的な汎用プログラムにおける部材剛性の評価が『負担モーメントと部材変形角の関係』を基調としている」事実と鑑みると、これらの構成式の形態が、本複合構造梁の設計を汎用プログラムを用いて行ううえで必ずしも優れているわけではないことが分かる。

先の図-3 上段に示した評価モデルは、この問題を解消して、寄り掛かりモデルに立脚して導かれた構成式を汎用プログラムに適用する際の便を図るために導入されたものであり、式(1)～式(3)を次の式(4)に示すように変形して、「寄り掛かりモデルより導かれる本複合構造梁の弾性たわみを、前掲図-3 下段に示した評価モデルの曲げモーメント分布に対して記述できる」ようにその構成関係を調整した結果として得られるものである。

$$\begin{cases} M_{fa} = rcS_{rc}R \Leftrightarrow Q(rcI + sln) = rcS \frac{rc\delta}{rcI} \\ M_{no} = sS_r sR_r \Leftrightarrow Q sln = sS_r \frac{s\delta_r}{sln} \\ M_{no} = sS_e sR_e \Leftrightarrow Q sln = sS_e \frac{s\delta_e}{sln} \end{cases} \quad (4)$$

すなわち図-3 上段の評価モデルは、式(4)が定義する rcS 、 sS_r 、 sS_e が、それぞれ逆算して次の式(5)、式(6)、式(7)として表現できることから、これらを、RC 造梁、曲げバネ、S 造梁の部材弾性剛性と解釈して寄り掛かりモデルを置換したものに相当する。

$$rcS = \frac{6cE_{rc}I_e (rcI + sln) rcI}{2rcI^3 + 3rcI^2sln - slb^2sln} \quad (5)$$

$$sS_r = \frac{2cE_{rc}I_e sln}{rcI^2 + 2rcIsln - slb^2sln} \quad (6)$$

$$sS_e = \frac{3sE_sI}{sln} \quad (7)$$

これらの部材弾性剛性のうち、特に RC 造梁の部材弾性剛性 rcS は、その導出過程から明らかなように、本来は前掲図-6 のような応力状態にある RC 区間の構成関係を「集中荷重 Q と RC 区間鼻先の弾性たわみ $rc\delta$ の関係」として表現したものから求められているため、式(5)は、

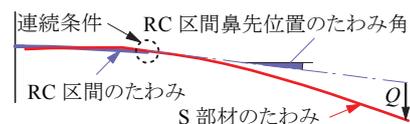


図-7 本複合構造梁の連続条件

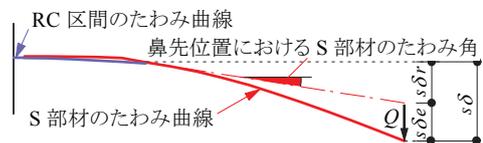


図-8 S 部材に生じる弾性たわみの詳細

「寄り掛かりモデルに準じた本来の応力条件下の変形から求めた等価な部材弾性剛性が見かけの値として示されたもの」と解釈するのがより正確と言える。

3.2 評価モデルの拡張解釈

式(5)～式(7)に示した部材弾性剛性 ${}_{rc}S, {}_sS_r, {}_sS_e$ は、**図-3**上段の評価モデルに生じる弾性たわみを評価するために弾性論に立脚して定式化されたものであり、**図-3**下段のように作用する曲げモーメントに対し、式(4)によって各構成要素に部材変形角を与える。ここで、(4)が示す構成関係を形成している部材変形角 ${}_{rc}R, {}_sR_r, {}_sR_e$ に着目すると、式の形態からして、 ${}_{rc}R$ が片持ちスパン ${}_{rc}l$ の片持ち梁、 ${}_sR_r$ および ${}_sR_e$ が片持ちスパン ${}_sl_n$ の片持ち梁の部材変形角関係に相当していると考えることができる。

他方、一般に、「曲げ剛性 EI の断面で構成される片持ちスパン l の片持ち梁」のモーメント-部材変形角を表現するための部材弾性剛性 S を弾性論に基づいて求めると、次の式(8)のようになることが知られている。

$$S = \frac{3EI}{l} \quad (8)$$

すなわち、片持ち梁にあつては、部材弾性剛性 S に片持ちスパン l を乗じ、さらに3で除することで当該部材の曲げ剛性 EI を求めることができる。したがって、本評価モデルの構成要素であるRC造梁、曲げバネ、S造梁の曲げ剛性をそれぞれ、仮に ${}_{rc}(EI), {}_s(EI)_r, {}_s(EI)_e$ と表記できるとすれば、これらの値は、それぞれの部材弾性剛性 ${}_{rc}S, {}_sS_r, {}_sS_e$ とその構成式上の片持ちスパンを用いることで、各々次の式(9)～式(11)として同定できることになる。

$$\begin{aligned} {}_{rc}(EI) &= \frac{{}_{rc}l}{3} {}_{rc}S \\ &= \frac{2({}_{rc}l + {}_sl_n) {}_{rc}l^2}{2{}_{rc}l^3 + 3{}_{rc}l^2 {}_sl_n - {}_sl_b^2 {}_sl_n} cE {}_{rc}I_e \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_s(EI)_r &= \frac{{}_sl_n}{3} {}_sS_r \\ &= \frac{2 {}_sl_n^2}{3({}_{rc}l^2 + 2{}_{rc}l {}_sl_n - {}_sl_b {}_sl_n)} cE {}_{rc}I_e \quad (10) \end{aligned}$$

$${}_s(EI)_e = \frac{{}_sl_n}{3} {}_sS_e = {}_sE {}_sI \quad (11)$$

式(11)のS造梁の曲げ剛性 ${}_s(EI)_e$ は、評価モデルの部材弾性剛性 ${}_sS_e$ が、その導出過程に見たようにS部材の弾性たわみをそのまま表現するためのものであるため、当然、当該断面の曲げ剛性である ${}_sE {}_sI$ と同値となっている。

その一方で、式(9)に示したRC造梁の曲げ剛性 ${}_{rc}(EI)$ は、本来のRC区間の断面の曲げ剛性 $E {}_{rc}I_e$ と異なっているが、これは、先に述べたように、この部材弾性剛性 ${}_{rc}S$ が、「寄り掛かりモデルより求められた結果と等価な部材弾性剛性が見かけの値として示されたもの」として定式化されているためである。同式(9)中に、S部材埋込み区間の長さ ${}_sl_b$ を含んだ項が存在し、この式に「S部材が埋込ま

れている」影響が反映されていることから、この相違は妥当と考えられる。すなわち式(9)に見る本来の曲げ剛性 $E {}_{rc}I_e$ との相違は、本複合構造梁のRC区間にS部材が埋め込まれている影響を示すものと言い換えられるため、この影響を数値化するための係数として「本来の曲げ剛性 $E {}_{rc}I_e$ に対する ${}_{rc}(EI)$ の比」を ${}_{rc}C$ と定義すると、その値を式(12)として表現することができる。

$${}_{rc}C = \frac{2({}_{rc}l + {}_sl_n) {}_{rc}l^2}{2{}_{rc}l^3 + 3{}_{rc}l^2 {}_sl_n - {}_sl_b^2 {}_sl_n} \quad (12)$$

これより、式(4)で定義されたRC造梁の部材弾性剛性 ${}_{rc}S$ は、「当該RC区間の断面の曲げ剛性を、本来の曲げ剛性 $E {}_{rc}I_e$ に ${}_{rc}C$ を乗じて修正した ${}_{rc}C E {}_{rc}I_e$ であるとして求めた片持ち長さ ${}_{rc}l$ の片持ち梁の部材弾性剛性に等しい」との解釈も成立するものであったことが分かる。

同様にして曲げバネに関しても、その曲げ剛性 ${}_s(EI)_r$ の値を修正係数 ${}_sC_r$ によって表現することとし、この際の基準となる曲げ剛性をS造梁のそれ ${}_sE {}_sI$ に設定すれば、 ${}_sC_r$ の値を式(13)と定義することができる。

$${}_sC_r = \frac{2 {}_sl_n^2}{3({}_{rc}l^2 + 2{}_{rc}l {}_sl_n - {}_sl_b {}_sl_n)} \frac{cE {}_{rc}I_e}{{}_sE {}_sI} \quad (13)$$

すなわち、RC造梁同様、曲げバネの曲げ剛性も式(13)を用いて ${}_sC_r {}_sE {}_sI$ として表記できることになる。

以上より、**図-3**上段に示した評価モデルを形成する3つの構成要素RC造梁、曲げバネ、S造梁は、それぞれの部材弾性剛性が既に ${}_{rc}S, {}_sS_r, {}_sS_e$ と定義されている³⁾が、これらの定義は、各々の曲げ剛性を ${}_{rc}C E {}_{rc}I_e, {}_sC_r {}_sE {}_sI$ として、それぞれの片持ちスパンを用いて導出された片持ち梁の部材弾性剛性であったとその解釈を拡張できる性質にあり、また本複合構造梁の剛性が、これらを統合して評価される性質にあることが分かる。

4. 拡張解釈の運用例

図-3上段の評価モデルについて、前報³⁾にて定式化された ${}_{rc}S, {}_sS_r, {}_sS_e$ が「片持ち形式の本複合構造梁」のみを対象としていた部材弾性剛性であったのに対し、先に示した式(9)～式(11)は、これに拡張解釈を加えて曲げ剛性を与えるものである。改めて述べるまでもないが、曲げ剛性は部材剛性とは異なり、部材の支持条件や応力条件とは独立した「当該断面固有の剛性」である。すなわち、本複合構造梁は、評価モデルに置換したうえにこれらの曲げ剛性を用いることで、弾性域の範囲内であれば、片持ち梁のみならず両端固定梁であっても、また集中荷重に限らず分布荷重の作用下にあつても、弾性論の下にそのたわみ一般を評価できることになる。

重ねての記述となるが、**図-3**上段の評価モデルは、本複合構造梁の構造設計を汎用プログラムによって実施するために構築されたものである。しかしながら、その

構成要素について、既知となっているのが部材剛性のみとされていたため、構造設計の実務に際しての適用が水平荷重に限定されていたが、その適用範囲は、この曲げ剛性の援用によって拡張を見ることになる。ここではその拡張例として、鉛直荷重によって本複合構造梁に生じる長期たわみを汎用プログラムを用いて検討する方法論の端緒を示し、本拡張解釈の有用性について論じる。

4.1 本複合構造梁に生じる長期たわみの法的位置付け

一般に、複合構造梁は、通常の RC 造では実現が難しい長スパン架構を構築するために採用される場合が多いが、このように梁が長スパン化した架構の構造設計において特別に要される検討として、建築基準法施行令第 82 条に準じて平成 12 年建設省告示 1459 号が定める「建築物の使用上の支障が起こらないことの確認」が挙げられる。本確認は、建築物を構成する横架材の変形が、長期間の荷重によって増大することを加味して当該部材の長期たわみの制御を試みるための検討であるが、ここで問題となるのは、告示にて示されている「長期間の荷重により変形が増大することの調整係数（変形増大係数）」の値が、RC 造はりの場合に 8、S 造の場合に 1 と、異なる値として定められている点にある。

長期たわみの検討は、鉛直荷重より生じる架構の弾性たわみに変形増大係数を乗じた値が、法で定められた上限以内におさまっていることを確認するものである。複合構造梁が、直列的な接合部¹⁾を介した RC 造梁と S 造梁より構成されていることから、その長期たわみの検討時に上記変形増大係数の相違を反映させる必要があることは言うまでもないが、この検討に汎用プログラムの出力を利用する際には、更に慎重な対応が求められる場合がある。多くの汎用プログラムにおけるこの検討が、対

象となる梁を含んだ架構の部材弾性剛性に基づいた応力解析結果として得られるモーメント分布から長期たわみを算出して行われるためである。

評価モデルを汎用プログラムに適用する場合、**図-9**上段のように S 区間端に中間節点を設け、この位置に曲げバネを挿入することが最も一般的な設計アプローチと考えられる。この状況で、「当該評価モデルが組込まれた骨組の曲げモーメント分布から算出される長期たわみの値」が、たとえば**図-9**下段に示すように「左右の中間節点位置におけるたわみ ${}_{rc}\delta_L, {}_{rc}\delta_R$ 」ならびに「S 区間の最大たわみ ${}_s\delta$ 」として出力される場合を考える。

このとき、寄り掛かりモデルに基づいた本複合構造梁に生じる弾性たわみの導出過程を顧みると、特に ${}_s\delta$ の取り扱いに一考の必要があることが分かる。

4.2 評価モデルの変形成分の属性

前掲**図-5**と対照すると、**図-9**下段に示した本複合構造梁の長期たわみ成分 ${}_{rc}\delta_L, {}_{rc}\delta_R$ は**図-5**中の ${}_{rc}\delta$ に、 ${}_s\delta$ は文字通り ${}_s\delta$ に相当する。しかしながら、既に**図-8**にて示したように、このうち S 区間の弾性たわみ ${}_s\delta$ は、さらに S 部材の剛体回転による弾性たわみ ${}_s\delta_r$ と、S 部材の弾性たわみ ${}_s\delta_e$ とに分解できるものである。ここで、両者のうち、S 部材の剛体回転による弾性たわみ ${}_s\delta_r$ が、**図-7**に見たように RC 区間のたわみ曲線との連続条件から求められる変形³⁾であることを考慮すると、告示に準じた長期たわみの検討において、汎用プログラムの出力 ${}_s\delta$ を単なる S 造はりの弾性たわみと捉えることに問題があることは明らかである。すなわち、S 区間の最大たわみとして出力される**図-9**下段の ${}_s\delta$ は、厳密には 2 つの弾性たわみ成分から構成されるものであるが、この 2 つの成分のうち、S 部材の弾性たわみ ${}_s\delta_e$ が S 造はりの変形に

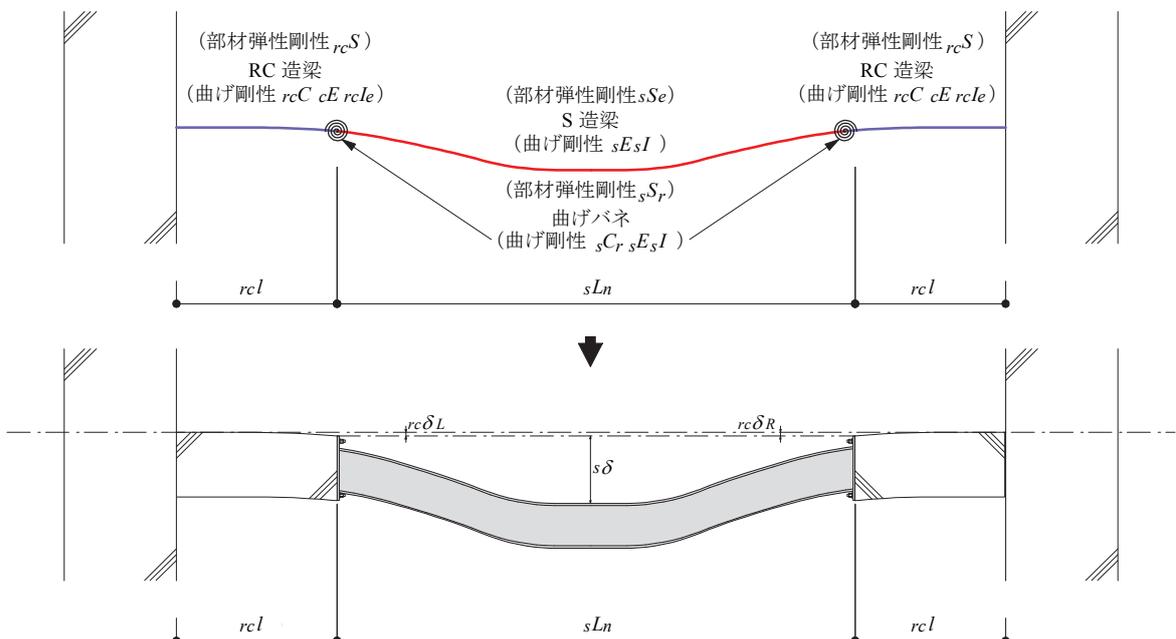


図-9 本複合構造梁に生じる長期たわみの例

相違ない一方で、S 部材の剛体回転による弾性たわみ δ_r は、むしろ RC 造はりの変形に従属している。

換言すれば、本複合構造梁に生じる長期たわみの検討は、汎用プログラムが出力すると想定される S 区間の最大たわみ δ を、RC 造はりの変形に帰属する S 部材の剛体回転による弾性たわみ δ_r と S 造はりの変形に帰属する S 部材の弾性たわみ δ_e とに分解し、それぞれの属性に応じた変形増大係数を乗じなければ、その適法性に問題が生じる可能性があることになる。

4.3 曲げ剛性を利用した S 区間の最大たわみの分解

本複合構造梁の長期たわみの検討を、評価モデルを適用した汎用プログラムの出力を用いて行う場合、先の式(9)～式(11)に示した評価モデルの構成要素の曲げ剛性を用いて S 区間の最大たわみ δ を分解することで、適法性を保つことができる。

本複合構造梁の構造設計を汎用プログラムで行うために、RC 造梁、曲げパネ、S 造梁から成る評価モデルを入力し、その部材弾性剛性の下に応力解析が行われ、結果として得られる曲げモーメント分布から図-9 下段のように長期たわみ出力される場合を考える。

分解が必要なのは S 区間のたわみ成分 δ であるが、これが図-9 上段のように、曲げ剛性 C_r 、 $E_s I$ の曲げパネの弾性たわみ δ_r と、曲げ剛性 $E_s I$ の S 部材の弾性たわみ δ_e の合算値であると考え、 δ を構成する δ_r と δ_e の値は、両者の曲げ剛性の比を用いた弾性論によって容易に求められ、その結果を式(14)として表現することができる。

$$\begin{cases} \delta_r = \frac{1}{1 + C_r} \delta \\ \delta_e = \frac{C_r}{1 + C_r} \delta \end{cases} \quad (14)$$

したがって、汎用プログラムが図-9 下段のように弾性たわみを出力した場合、長期たわみを検討するために弾性たわみに乗ずる変形増大係数が「RC 造はりの場合に 8、S 造の場合に 1」と定められている告示に正しく対応するためには、RC 造梁による弾性たわみ成分 δ_e および δ_r のみならず、式(14)の第一式より求められる曲げパネによる弾性たわみ成分 δ_r も、RC 造はりに係る変形として変形増大係数を 8 に設定して検討すればよいことになる。

5. まとめ

本論文では、材端部の RC 区間と中央部の S 区間との境界に鋼製のプレートを配し、これを RC 区間の主筋および S 部材と一体化させることによって「この種の複合構造梁の接合部に求められる機能¹⁾の合理的な確保」を試みた本複合構造梁²⁾について、前報³⁾にて提案したその部材剛性の評価手法に残されていた課題を明らかにし、課題解決のためのさらなる発展を試みた。

「本複合構造梁の構造設計を汎用一貫構造設計プログラムを用いて実施する」ことを帰着点に設定して構築された前報³⁾の評価手法が、その基幹となる評価モデルの形態から実務上の設計対応に限度を有していたことを受け、評価モデル導出の起点にまで立ち戻ったうえでその物理的解釈を拡張することで、既に整っている地震時荷重等の水平荷重への対応環境を踏襲しながら、積載荷重等の鉛直荷重にも対応できる評価アプローチを新たに導出した。

本論文にて活用例も示したこの評価アプローチは、本複合構造梁の剛性評価の立脚点を「部材剛性」ではなく「曲げ剛性」に設定することで、用途の限定を余儀なくされていた前報³⁾の手法の適用範囲を拡張するものであるが、今後はさらに、本複合構造梁の設計環境の一層の充実に寄与できるような活用も期待される。

なお本論文では、評価モデルの拡張解釈の活用例として、「RC 区間のせん断ひび割れの影響が軽微な長期たわみの検討への援用」を例示するために、弾性曲げ変形のみで特化した論が展開されているが、実際の設計実務において、特に RC 区間のせん断変形を無視できないような問題に本評価モデルを適用する場合には、適時せん断変形を考慮する必要がある。また曲げパネの剛性に関しては、その定式化の端緒として「寄りかかりモデル⁵⁾における RC 区間と S 部材の境界プレート位置での連続条件」が前提とされていることから、実務上は、境界プレートの厚さを適切に設計する等、この前提を担保するための措置が不可欠となると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼コンクリート構造接合部の応力伝達機構と抵抗機構，2011. 2
- 2) 佐藤良介，小澤潤治，阪井由尚：材端部鉄筋コンクリート造中央部鉄骨造で構成された埋込み形式の複合構造梁の構造性能，コンクリート工学年次論文集，Vol. 34, No. 2, pp. 1171 - 1176, 2012
- 3) 佐藤良介，小澤潤治，阪井由尚，中田寛二：鉄骨部材と溶接された鋼製プレートで鉄筋コンクリート区間を強化した埋込み形式の複合構造梁の部材剛性の評価手法，コンクリート工学年次論文集，Vol. 35, No. 2, pp. 1153 - 1158, 2013
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010. 2
- 5) 平野道勝，伊藤倫雄，穂積秀雄：角形鋼管の根巻き柱脚に関する実験（その 5），日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），pp. 891 - 892, 1986. 8
- 6) 鈴木英之，西原 寛：材端部 RC 造中央部鉄骨造で構成される複合構造梁のせん断耐力と変形性能，日本建築学会構造系論文集，Vol.73, No.631, pp.1673-1680, 2008.9