

不完全連続合成桁のクリープ・乾燥収縮特性

CREEP AND DRYING SHRINKAGE PROPERTIES OF
IMCOMPLETE CONTINUOUS COMPOSITE GIRDER

高海克彦*, 浜田純夫**

Katsuhiko TAKAMI and Sumio HAMADA

* 工博 山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (〒755 山口県宇部市常盤台)

** Ph.D 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755 山口県宇部市常盤台)

In this paper, the long-term behavior of continuous incomplete composite girders, subjected to the sustained load and drying shrinkage, are analyzed. Calculations are carried out using the modified finite element method proposed, which can consider crack in the concrete and the flexible connector between concrete and steel. It is confirmed that the change of redundant force of the continuous girder occurs by crack, creep and shrinkage in the concrete, especially the effect of shrinkage is considerably large. It is useful to reduce the rigidity of the connector to prevent the crack of the concrete in the vicinity of the intermediate supports.

Key words: continuous composite girder, creep, drying shrinkage, crack, connector

1. まえがき

鋼-コンクリート合成はりは、合理的かつ経済的であるがゆえに土木および建築におけるはり構造物に広く用いられている構造形式である。上部コンクリート床版をずれ止めにより鋼桁に接合することで、単体に比べて高強度、高剛性部材としての利用を可能にしている。正の曲げモーメントにはコンクリートが圧縮力を負担し、中立軸が合成断面内の上方にあることにより、引張力を鋼桁の大部分で負担できる。一方、負の曲げモーメントを受ける場合には、コンクリートには過大の引張力によりひび割れが発生し、合成効果が失われる危険性がある。

合成桁が持続荷重を受ける場合、コンクリートのクリープにより合成断面内でいわゆる応力の再分配が発生し、一般にコンクリートの応力は減少し、鋼桁の応力は増加する。また合成桁ではコンクリートの自由な乾燥収縮が拘束される結果、クリープと似た応力状態を示し、しかも乾燥収縮応力自身がクリープを伴うものである。

連続合成桁の使用限界状態における設計では、中間支点付近の負の曲げモーメントによって生ずる引張応力を打ち消す方法と、床版コンクリートのクリープ・乾燥収縮による合成桁の変位、ならびに応力の時間変動を把握することが重要である。特に実橋によく用いられる変断面合成桁は、橋軸方向に床版コンクリートのクリープ・乾燥収縮の拘束度が異なるため、予想される複雑な性状を正確に解析される必要がある。

著者らは先に合成桁のコンクリートと鋼桁をそれぞ

れはり要素に、コンクリートと鋼を結合するずれ止めをバネ要素にモデル化した不完全合成桁のクリープ有限要素解析法を提示した。このモデルではバネ剛性を無限大にすると完全合成桁を、バネ剛性を0とすると重ねばりのクリープ特性を把握できる。これを用いて文献1)で、単純合成桁の長期挙動の検討を加えた。

連続合成桁の長期挙動の研究は、わが国では彦坂²⁾の解法、栗田・中井³⁾の研究、また近年 Gilbert, Bradford⁴⁾の研究、Dezi, Tarantino^{5),6)}の解法の提案等がある。しかしながら、彦坂, Gilbert, Bradford, Dezi, Tarantinoの解法は応力法であり、連続合成桁の解法には煩雑な計算過程を必要とする。彦坂, Gilbert は完全合成を対象に、また Dezi, Tarantino は自身の解析法を適用して多くのパラメトリック解析を行っているがすべてのコンクリートを有効としている⁶⁾。

以上のようにこれまでいくつかの研究がなされてきているが、ある適用範囲と条件を設定している。従ってコンクリート床版と鋼桁のずれ、ひび割れの発生を想定した一般的な連続合成桁のクリープ・乾燥収縮挙動の把握および検討にはその余地が残されているものと考えられる。

本研究は、こうした点に鑑み、筆者らが提案した不完全合成桁の長期解析法を、連続桁に拡張適用し、不完全連続合成桁のクリープ・乾燥収縮特性を考察するものである。

2. 解析法の概要

2. 1 材料特性

(1) クリープ係数・乾燥収縮ひずみ

クリープ係数および乾燥収縮ひずみに対し多くの予測式があるが、本研究では各影響要因を考慮したCEB-FIP91コード⁷⁾を用いる。式の詳細は付録に記すが、クリープ・乾燥収縮式とも、相対湿度とコンクリートの平均圧縮強度、仮想厚さ、および材令の関数となっている。

(2) 構成則

コンクリート、鋼の応力-ひずみ関係は圧縮側引張側とも線形とするが、引張側コンクリートは引張ひずみ限度まで引張応力を負担できるとする。

コンクリートのクリープ・乾燥収縮による応力-ひずみ関係は、材令修正有効係数法を採用し、クリープ・乾燥収縮に伴う変動応力は次式で表される⁸⁾。

$$\sigma_c(t_2, t_1) = E_a \varepsilon_c(t_2, t_1) - \frac{E_a}{E_c(t_1)} \phi(t_2, t_1) \sigma(t_1) - E_a \varepsilon_{sh}(t_2, t_1) \quad (1)$$

ここに、

$\sigma_c(t_2, t_1)$: 材令 t_1 から材令 t_2 までのコンクリート変動応力

$\varepsilon_c(t_2, t_1)$: 材令 t_1 から材令 t_2 までのコンクリート変動ひずみ

E_a : 材令修正有効弾性係数で次のように定義されている。

$$E_a = \frac{E_c(t_1)}{1 + \chi(t_2, t_1) \phi(t_2, t_1)}$$

$\chi(t_2, t_1)$ は材令修正係数で、一般に 0.6 から 1.0 の値を採る。

$\phi(t_2, t_1)$: 材令 t_1 から材令 t_2 までのクリープ係数

$\sigma(t_1)$: 材令 t_1 におけるコンクリートの作用応力

$\varepsilon_{sh}(t_2, t_1)$: 材令 t_1 から材令 t_2 までのコンクリートの乾燥収縮ひずみ

2. 2 合成桁要素

合成桁の要素は先の文献⁹⁾の要素構成に加え、図-1のようにコンクリート床版に鉄筋を加える。鉄筋はコンクリートとのすべりのない軸力要素とし、床版断面内任意の位置に配置する。図-1の長さ l のはり要素節点 i, j において、コンクリートと鋼の軸方向変位、たわみおよびたわみ角を考える。ただし、コンクリート床版と鋼桁は平面保持の仮定が成り立つとし、たわみとたわみ角はともに一致させる。軸方向の変位関数に、浜田¹⁰⁾は連続合成桁の弾塑性解析において、 z の 3 次式を用いたが、要素数を増やすことで同程度の計算精度を得ることができるので、本モデルでは従来どうり z の 1 次式の変位関数を採用した。また、文献¹⁾では合成桁の剛性マトリクスを求めるのに、コンクリートおよび鋼のそれぞれの図心軸を基準とし、接合位置との偏心を考慮した変位

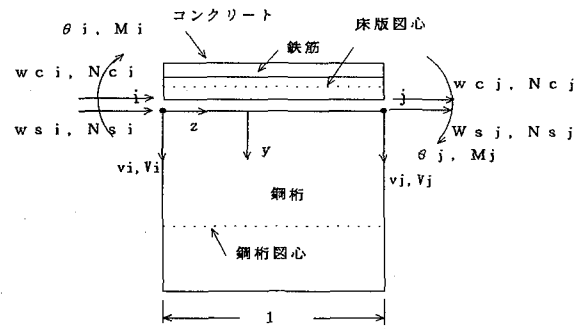


図-1 合成桁要素

関数を用いたが、ここではコンクリート床版と鋼桁の接合線を参照軸とする共通の y 座標の原点とし、コンクリート、鋼桁それぞれの軸方向変位を表すのに以下の変位関数を用いた。こうすることで要素毎の参照軸（接合線）と図心軸の座標変換をいちいち行うことなく扱うことができる。

$$w_c = \langle N_c \rangle \{u\}$$

$$w_s = \langle N_s \rangle \{u\}$$

ここに、

$$\{u\} = \langle w_{ci} \ w_{si} \ v_i \ \theta_i \ w_{cj} \ w_{sj} \ v_j \ \theta_j \rangle$$

$$\langle N_c \rangle = \left\langle 1 - \frac{z}{l} \quad 0 \quad -6(y - y_c) \left(-\frac{z}{l^2} + \frac{z^2}{l^3} \right) \right.$$

$$\left. \left\{ - (y - y_c) \left(1 - 4\frac{z}{l} + 3\frac{z^2}{l^2} \right) - y_c \left(1 - \frac{z}{l} \right) \right\} \right.$$

$$\left. \frac{z}{l} \quad 0 \quad 6(y - y_c) \left(-\frac{z}{l^2} + \frac{z^2}{l^3} \right) \right.$$

$$\left. \left\{ - (y - y_c) \left(-2\frac{z}{l} + 3\frac{z^2}{l^2} \right) - y_c \frac{z}{l} \right\} \right\rangle$$

$$\langle N_s \rangle = \left\langle 0 \quad 1 - \frac{z}{l} \quad -6(y - y_s) \left(-\frac{z}{l^2} + \frac{z^2}{l^3} \right) \right.$$

$$\left. \left\{ - (y - y_s) \left(1 - 4\frac{z}{l} + 3\frac{z^2}{l^2} \right) - y_s \left(1 - \frac{z}{l} \right) \right\} \right.$$

$$\left. 0 \quad \frac{z}{l} \quad 6(y - y_s) \left(-\frac{z}{l^2} + \frac{z^2}{l^3} \right) \right.$$

$$\left. \left\{ - (y - y_s) \left(-2\frac{z}{l} + 3\frac{z^2}{l^2} \right) - y_s \frac{z}{l} \right\} \right\rangle$$

ただし、 y_c, y_s はそれぞれコンクリート床版要素、鋼桁

要素の図心の y 座標を表す。鋼桁の図心位置は変動しないが、コンクリート床版の図心はクリープ進行とともに移動する。いま、コンクリート床版のコンクリート断面積、参照軸に関する断面 1 次モーメントを A_{co} 、 Q_{co} 、鉄筋の断面積、位置および弾性係数を A_{sf} 、 y_{sf} 、 E_s とすると床版の図心は次式で表される。

$$y_c = \frac{(E_a Q_{co} + E_s A_{sf} y_{sf})}{(E_a A_{co} + E_s A_{sf})}$$

上述の変位関数の仮定を出発点とし、以後は文献 1) と同じくコンクリート床版（鉄筋要素を含む）、鋼桁およびずれ止めに関して有限要素法の定式化手法をへて、式 (2) のような合成桁要素剛性方程式を導くことができる。ただし、結果的には文献 1) と同一の剛性マトリクスとなる。

$$([K_a] + [K_s] + [K_{cs}])\{u\} = \{F\} + \{G\} \quad (2)$$

ここに、 $[K_a]$ 、 $[K_s]$ 、 $[K_{cs}]$ はそれぞれコンクリート床版、鋼桁、ずれ止めの剛性マトリクス、 $\{F\}$ は図-1 の節点力ベクトル、 $\{G\}$ は乾燥収縮ひずみを含んだクリープ惹起荷重ベクトルである。

2. 3 ひび割れの取り扱い

負の曲げモーメントならびに乾燥収縮を受ける合成桁では、コンクリート床版に引張力が働き、ひび割れの発生する可能性がある。合成桁が基本的にコンクリート床版と鋼桁の二要素から構成される特性から、本研究では、コンクリート床版の図心位置のひずみが 2. 1 (2) で述べた引張ひずみ限度を越えるとひび割れが発生し、コンクリートは引張力を負担せず、鉄筋のみが負担するとする。従って、ひび割れの生じた床版の剛性マトリクスは鉄筋のみで構成される。材令とともに増加する乾燥収縮ひずみを拘束することによって桁軸方向に広がるひび割れ域は、全体剛性方程式の繰り返し計算（代入法）により、コンクリート要素毎に判定する。

3. 計算結果と考察

対象桁は図-2 に示す断面を有する片支間 25.0m の 2 径間連続桁である。この断面は文献 6) の検討断面のコンクリート床版中に鉄筋を配置したものである。連続桁の対称性から、片支間を計算領域にし、これを 32 要素に分割した。

材料特性はコンクリートの強度の特性値を $f_{ck} = 30\text{MPa}$ とするとき、CEB-FIP 91 コードによるとコンクリートの 28 日弾性係数は $E_c = 28.518 \times 10^3 \text{MPa}$ 、引張強度 $f_t = 2.9\text{MPa}$ となる。また鋼材の弾性係数は $E_s = 2.1 \times 10^5 \text{MPa}$ とする。材令 30 日に持続荷重として等分布満載荷重 645.6N/cm を載荷し、相対湿度を 50% するときの材令 25550 日 (70 年) までのクリープ係数と乾燥収縮ひずみの進行を示すと図-3、-4 のようになる。乾燥開始材令は、載荷材令と同じと

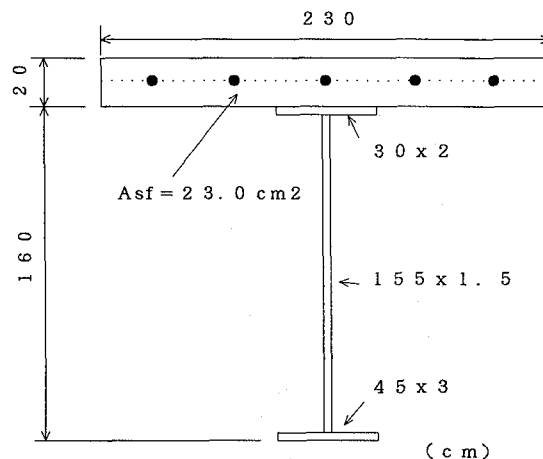


図-2 計算対象桁

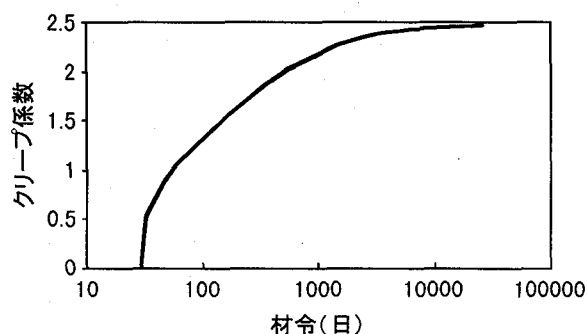


図-3 クリープ係数

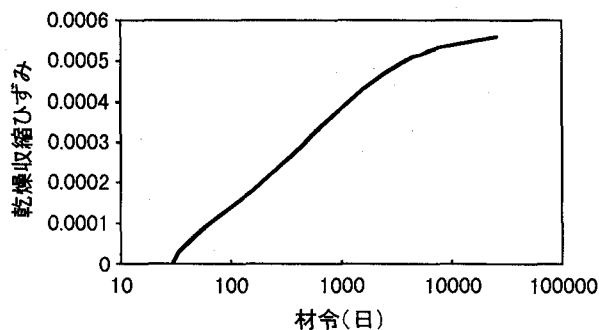


図-4 乾燥収縮ひずみ

する。

3. 1 文献 6) との比較と考察

まず文献 6) の Dezi の計算結果と比較するため、断面から鉄筋を除き、乾燥収縮を考慮せず、引張側のコンクリートはすべて有効とした場合を考える。このときの、載荷時 (材令 30 日) と着目時 (材令 25550 日、70 年) の連続桁の中央支点反力を、ずれ止め剛性を変化させて示したのが図-5 である。この桁ではずれ止め剛性が 1000kN/cm/cm であれば完全合成桁、ずれ止め剛性が 0.01kN/cm/cm ではコンクリートと鋼桁の重ねばりとなせしめる。図から重ねばりおよび完全合成の場合は反力の時間変動は生じないが、不完全合成

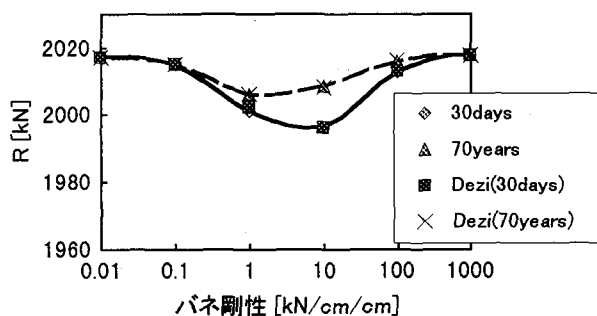


図-5 中間支点反力（ひび割れ、乾燥収縮なし）

の場合には反力が若干増加している。これは不完全連続桁ではクリープにより断面力が桁軸方向に移行することを示している。計算結果はほとんど Dezi の応力法による結果と一致している。

次にひび割れ、乾燥収縮の影響を検討するため、同じ条件でコンクリートの乾燥収縮を考慮し、引張強度を C E B - F I P 9 1 コードに従い $f_t = 2.9\text{MPa}$ としたときの支点反力を図-6 に示す。本例ではずれ止めのバネ剛性が 10kN/cm/cm より大きくなると支点近傍 3.0m 内のコンクリートにはひび割れが生じ引張応力を負担しなくなる。図-5 と図-6 を比較すると明らかであるが、バネ剛性が大きい時に中間支点近傍に発生する引張応力に対して、コンクリートを有効とする場合とひび割れが発生して無視する場合とでは反力の大きさおよびクリープによる変動傾向が著しく異なる。ひび割れ発生後のコンクリートを無効とするとときの載荷時反力は、ひび割れの発生しない場合に比べて小さい。また時間の経過と共にクリープによる断面力の移行により反力は増加している。さらに乾燥収縮がある場合にはコンクリートの収縮を鋼桁が拘束するため、断面力の再分配により反力は増加し、バネ剛性が 10kN/cm/cm のときには載荷時の反力に対して約 8% 増加する。

3. 2 桁軸方向の特性

図-2 のコンクリートの図心位置に鉄筋比 0.5% に当たる断面積 $A_{sf} = 23.0\text{cm}^2$ の鉄筋を考慮し、一本当たり 2451.5kN/cm のずれ止めを 3 列 60cm 間隔に配置した場合に相当する単位長さ当たり 122.57kN/cm/cm のず

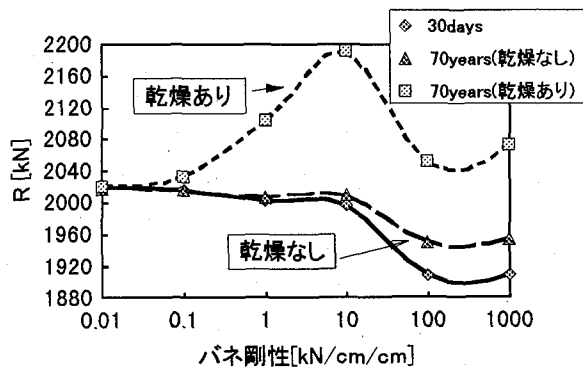


図-6 中間支点反力（ひび割れ、乾燥収縮あり）

れ止めを用いた桁を対象に検討する。

図-7 は連続桁の対称性から、左支間での載荷時と着目時のたわみをプロットしたものである。図の左側が桁端を、右側が中央支点部を表す。桁軸方向の諸量を示すときはすべてこの方式とする。また図-8 は曲げモーメントをプロットしたものである。本例ではクリープのみによるたわみは載荷時の 26% の増加、乾燥収縮が加わると 73% もの増加となる。しかし、たわみは増加するが、桁にはクリープ・乾燥収縮により負の曲げモーメントが生じ、載荷時のモーメント分布が上方にシフトする形を探っている。乾燥収縮を考慮すると中央支点部の曲げモーメントは 50% の増加を見る。この乾燥収縮を考慮した場合のコンクリート床版上縁と下縁、鋼桁上縁と下縁の応力分布と変動を図-9 ~ 12 に示す。コンクリートは初期応力によるクリープと自由乾燥収縮を鋼桁に拘束されて引張応力が発生し、載荷時の圧縮応力は失われるか、むしろ引張状態となっている。載荷時に中央支点近傍のコンクリートにはすでにひび割れが発生（応力を 0 で表示）しているが、図-9 のコンクリート上縁応力図からわかるように、クリープ・乾燥収縮によりコンクリートが引張限度を超え、ひび割れの範囲が拡大している。文献 6) の Dezi の計算法は、コンクリートはすべて有効としているので、クリープと乾燥収縮の結果の単純重ね合わせが成立し、このような応力の再分配は考慮できない。

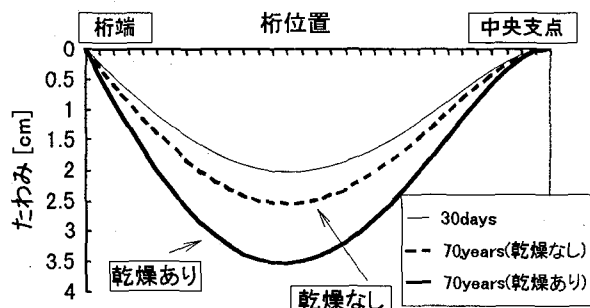


図-7 たわみ分布と経時変化

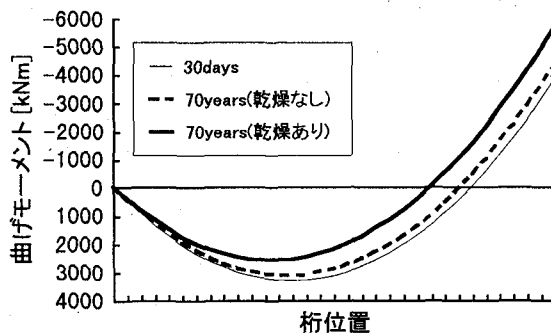


図-8 モーメント分布と経時変化

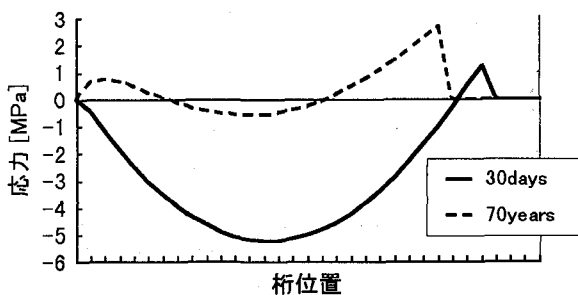


図-9 コンクリート上縁応力分布

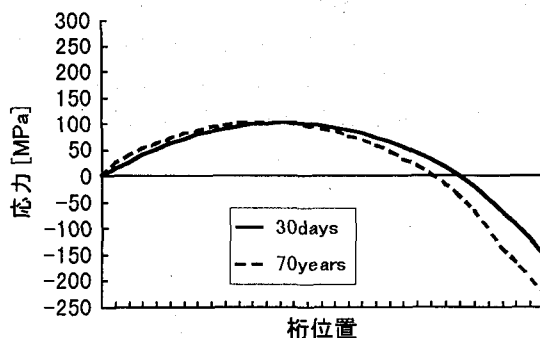


図-12 鋼桁下縁応力分布

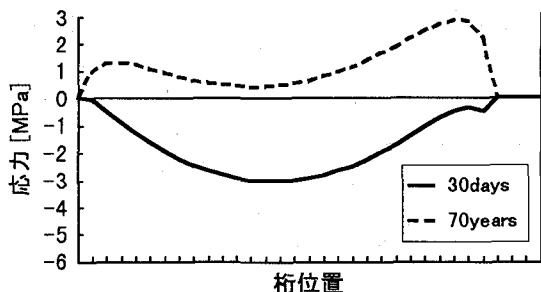


図-10 コンクリート下縁応力分布

一方、鋼桁ではコンクリートとは逆にコンクリートからクリープ・乾燥収縮により圧縮力を受けることになり、特にコンクリートと接する上フランジは載荷時の4倍もの圧縮応力が作用することになる。鋼桁下縁では中央支点部以外はクリープ・乾燥収縮の影響はほとんどない。支点近傍の鋼桁については、その点のコンクリートはひび割れにより直接力の伝達はないが、桁軸方向の断面力の再配分により上縁下縁とも応力増加となる。

3.3 支点降下に及ぼすクリープ・乾燥収縮

まえがきにも述べたように、連続合成桁の設計では中間支点近傍上に発生する負の曲げモーメントによってコンクリートに作用する引張力を如何に低減するかが問題にされる。

その方策の一つとして床版打設後、中間支点を降下させて桁全体に正の曲げモーメントを前もって導入する方法がある。図-13の様に2径間連続桁の中央支点を15cm降下させる場合を考える。この手法により導入される曲げモーメントは図-14の細実線のごとくである。ところがクリープ・乾燥収縮によりモーメントは減少し、乾燥収縮の影響を加えると、導入曲げモーメントの13%しか残らない。その場合の中央支点コンクリー

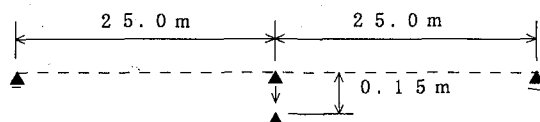


図-13 支点降下

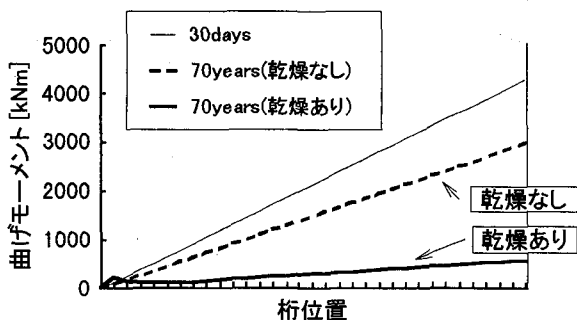


図-14 支点降下による曲げモーメント

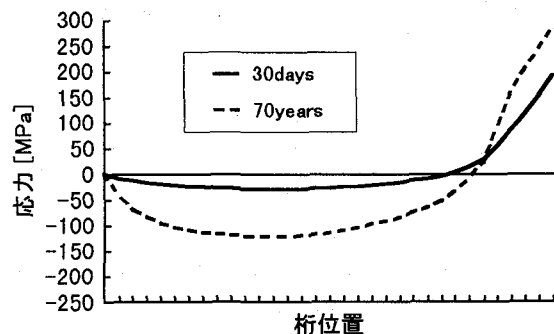


図-11 鋼桁上縁応力分布

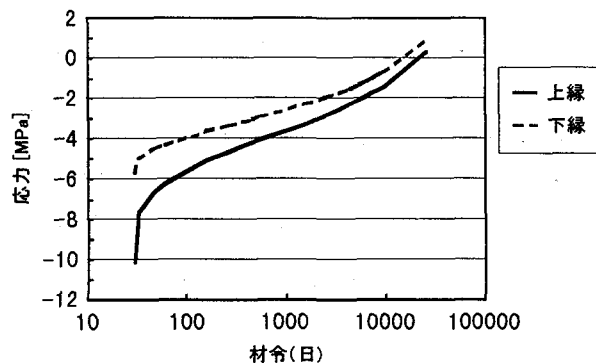


図-15 中央支点上コンクリート応力の経時変化

ト上縁と下縁応力の経時変動を図-15に示す。コンクリートに導入された圧縮応力は材令と共に減少しほとんどなくなってしまう。この傾向は中央支点以外でも生じるが、初期作用応力が大きいだけに支点上が顕著である。

3. 4 変断面断続合成桁

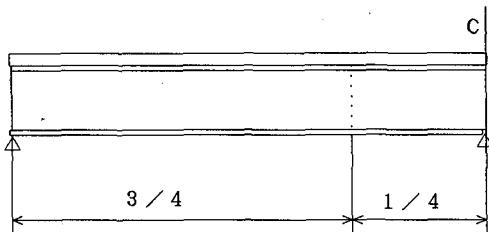


図-16 変断面桁

連続合成桁の実橋には多くの場合、変断面桁が採用される。支点せん断力を鋼桁ウェブで負担させるためウェブ高を高く、また中間支点近傍の負の曲げモーメント区間では、コンクリートの応力を低減させるため鋼桁上フランジ断面が下フランジ断面より大きくなるためである。さらに負の曲げモーメント域にはずれ止めを配置しないいわゆる断続合成桁の研究開発¹⁰⁾も行われている。

ここでは、図-16の様に支間3/4区間(a区間)には図-2の断面を、中央寄りの1/4区間(b区間)では鋼桁上下フランジを逆にし、かつコンクリート床版中の鉄筋比が2%¹⁰⁾になるよう鉄筋量を変えた変断面桁を想定した。a区間にはやはり122.57kN/cm/cmの剛性を持つずれ止めを配置するが、b区間のずれ止め剛性は変化させて、そのクリープ乾燥収縮挙動を検討する。

図-17にはb区間のずれ止め剛性を122.57kN/cm/cmから徐々に減少させた場合の中央支点上曲げモーメントを示す。初期のずれ止め剛性の1/10までは徐々に負の曲げモーメントが大きくなる。また、b区間のずれ止め剛性が小さくなると、30日から70年

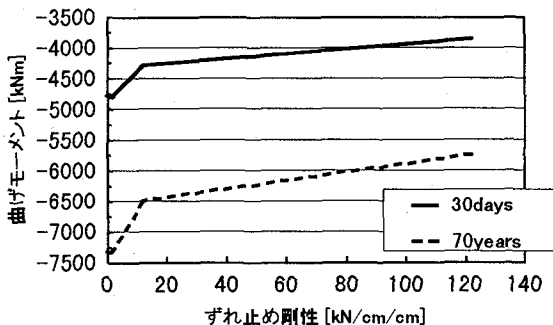


図-17 中央支点上曲げモーメント

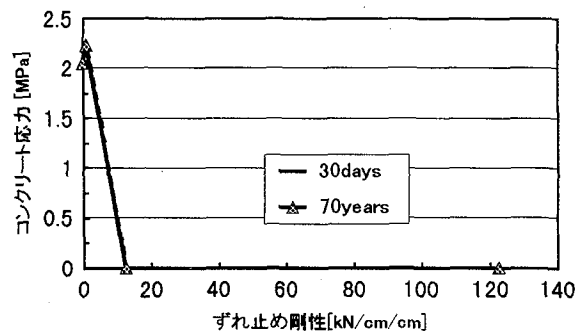


図-18 中央支点上コンクリート応力

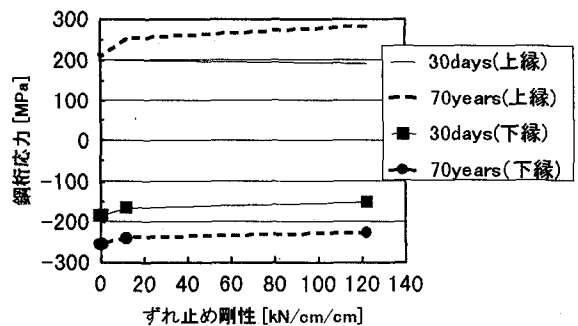


図-19 中央支点上鋼桁応力

の間に変動する曲げモーメントも増加する傾向にある。これはずれ止め剛性の低下により合成桁としての剛性が小さくなるところに断面力が移行するためと思われる。

図-18, 19には中央支点上コンクリートと鋼桁の応力を示す。ずれ止め剛性が122.57kN/cm/cm以上ではコンクリートに作用する引張力によりひび割れが発生するが、ずれ止め剛性を小さくするとコンクリートに発生する引張応力を小さくすることができ、またその応力は載荷時(30日)と着目時(70年)では変化しない。

一方、鋼桁上縁はb区間のずれ止め剛性を0とした完全な断続桁の場合は応力の移行は0であるが、下縁ではなおクリープ・乾燥収縮の影響を受け3.7%の応力増加を来す。

4. まとめ

本研究では、不完全連続合成桁に対して、負の曲げモーメントによる中央支点上のコンクリートのひび割れを考慮したクリープ・乾燥収縮解析への有限要素法の適用を試み、既往の研究結果との比較を行った後、各条件の下で解析を行ったものである。

その結果、次のような結論を得た。

- 1) 完全合成桁では、ひび割れ・乾燥収縮を考慮しない場合はクリープのみによる中間支点反力の変動は生じないが、考慮するとひび割れによる断面力の再配分により反力は極めて大きくなる。
- 2) 乾燥収縮が合成桁の中央支点反力および曲げモ

ーメントの時間変動に与える影響は大きく、クリープのみの影響の2倍もの変動を与える場合がある。

- 3) 乾燥収縮によりひび割れ領域は更に広がる。
- 4) 支点降下によってコンクリートに導入される圧縮応力は支間に等分布にずれ止めがあると、経時的に失われる。
- 5) 変断面連続合成桁は、中間支点近傍のバネ剛性を極めて小さくすることで、コンクリート作用引張応力を小さくできる。

本研究は、不完全連続合成桁の長期挙動の定性的な把握に止まった面もあるが、今後、本構造の設計法の確立へも拡張するつもりである。

付録

クリープ係数

$$\phi(t_2, t_1) = \phi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_1) \beta_c(t_2 - t_1)$$

ここに、

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0.46(h/100)^{1/3}}$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{5.3}{(f_{cm}/10)^{0.5}}$$

$$\beta(t_1) = \frac{1}{1 + (t_1/1)^{0.2}}$$

$$\beta(t_2 - t_1) = \left[\frac{(t_2 - t_1)/1}{\beta_H + (t_2 - t_1)/1} \right]^{0.3}$$

$$\beta_H = 150 \left\{ 1 + \left(1.2 \frac{RH}{100} \right)^{18} \right\} \frac{h}{100} + 250 \leq 1500$$

ただし、 RH は相対湿度、 f_{cm} は材令28日における平均圧縮強度(MPa)、 h はコンクリート断面積を A_c 、周長を u とするとき次式で表される仮想厚さ。

$$h = 2A_c / u$$

乾燥収縮ひずみは、普通セメントを用い、相対湿度40% から99% の範囲では次のように表される。

$$\varepsilon_{cs}(t_2, t_1) = \varepsilon_s(f_{cm}) \beta_{RH} \beta_s(t_2 - t_1)$$

ここに、

$$\varepsilon_s(f_{cm}) = [160 + 50(9 - f_{cm}/10)] \times 10^{-6}$$

$$\beta_{RH} = -1.55 \left\{ 1 - (RH/100)^3 \right\}$$

$$\beta_s(t_2 - t_1) = \left[\frac{(t_2 - t_1)/1}{350(h/100)^2 + (t_2 - t_1)/1} \right]$$

参考文献

- 1) 高海克彦, 浜田純夫: 不完全合成桁のクリープ解析法, 構造工学論文集, Vol.39A, pp.1269~1278, 1993
- 2) 彦坂照: 変断面連続合成桁のクリープおよび乾燥収縮応力解析法, 土木学会論文報告集, No.199, pp.21~31, 1972
- 3) 栗田章光, 中井 博 他: プレキャスト床版連続成橋のクリープ・乾燥収縮の実験と解析, 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp. 55~ 60, 1989
- 4) Gilbert, R.I., Bradford, M.A.: Time-Dependent Behavior of Continuous Composite Beams at Service Loads, Jour. of Structural Engineering, Vol. 121, No. 2, pp.319~327, 1995
- 5) Dezi, L., Tarantino, A. L.: Creep in Composite Continuous Beams. I: Theoretical Treatment, Jour. of Structural Engineering, Vol. 119, No. 7, pp.2095~2111, 1993
- 6) Dezi, L., Tarantino, A. L.: Creep in Composite Continuous Beams. II: Parametric Study, Jour. of Structural Engineering, Vol. 119, No. 7, pp.2112~2121, 1993
- 7) COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON: CEB-FIP MODEL CODE 1990
- 8) A.Ghali・R.Favre: コンクリート構造物の応力と変形[クリープ・乾燥収縮・ひび割れ], 技法堂出版
- 9) 浜田純夫, 有住康則: 不完全連続桁の有限要素解析, 土木学会論文報告集, 第245号, pp.1~9, 1977
- 10) 例えば; 稲葉紀昭, 井口光雄: 鉄道橋用断続合成桁の設計法の提案, 構造工学論文集, Vol.41A, pp.1085~1096, 1995

(1996年9月6日受付)