乾燥収縮するコンクリート壁面の拘束度マップ

MAPPING OF RESTRAINING RATIO FOR CONCRETE WALLS WITH DRYING SHRINKAGE

寺西 浩司*, 中村 雄一**
Kohji TERANISHI and Yuichi NAKAMURA

In this study, the distribution of restraining ratio in concrete walls with various conditions was calculated by FEM analysis and a uniaxial model, and the map of restraining ratio for the control design of shrinkage cracking was created based on the results. The distribution of restraining ratio shown in the map has the following characteristics. (1) The areas whose restraining ratio can not be calculated by the uniaxial model (peculiar areas) occur at the upper and lower parts of both ends of a wall. (2) The position and largeness of peculiar area hardly changes depending on stiffness balance between members and number of layer and span. (3) The average restraining ratio at the peculiar area at the lower part of both ends is obtained by adding a constant value to the restraining ratio calculated by the uniaxial model.

Keywords : *Drying shrinkage, Cracking, External restraining, FEM analysis, Uniaxial model*

乾燥収縮, ひび割れ, 外部拘束, FEM解析, 1軸モデル

1. はじめに

鉄筋コンクリート建物の収縮ひび割れ制御対策を性能設計的な手法に基づいて合理的に策定するためには、ひび割れ発生状況（ひび割れの有無、および発生位置・長さ・幅など）の事前予測が欠かせない。しかし、その予測手法は現状では実質的にFEM解析しかなく、これは、かなりの手間と専門的な能力を要するものであるため、ごく一般的な建物のひび割れ対策の実務的な検討手段には適さない。

一方、コンクリート部材に生じる自由収縮変形は、通常、収縮速度や剛性の異なる周辺の部材に拘束されるため、その拘束の度合いを表す指標である拘束度も、ひび割れの発生状況に大きな影響を及ぼす。したがって、ひび割れ予測にあたっては、使用するコンクリートの自由収縮ひずみのほかに、コンクリート部材の拘束度を把握しておくことが重要となる。

以上のことを踏まえると、FEM解析より簡便で実用的なひび割れ発生状況の予測手法として、拘束度分布を諸条件ごとにパターン化した汎用的な設計資料を予め整備しておき、それを活用してひび割れ予測を行うという方法が考えられる。ただし、拘束度の値は、部材間で異なるのみならず、一つの部材内でも、様々な要因によって複雑に分布する。また、拘束度に関しては、これまでに、中西¹⁾、鈴

木ら²⁾、尹ら³⁾により解析的な研究が報告されているものの、これらは、限定的な条件下での拘束度の計算結果であり、ひび割れ制御設計資料として有効に活用できるようなにはなっていない。

このような背景から、筆者らは、これまでに、拘束度分布を体系的に整理した収縮ひび割れ制御設計資料の作成を最終的な目的として、乾燥収縮するコンクリート壁面における拘束度分布の規則性を見出すための実験的・解析的検討を行ってきた。そして、拘束度を、図1に模式図を示すような、次の2つの領域に工学的に区分して考えることが合理的であるとの知見を得た⁴⁾。

①端部以外：曲げ変形が卓越し、平面保持の仮定が成立することから、拘束方向（すなわち、最大主応力方向）が水平で、拘束度の高さ方向の分布が直線的となる領域。なお、この領域では、コンクリート壁面を5章に後述する1軸モデルに置き換えることにより拘束度分布を計算できる。

②端部：せん断変形が卓越し、平面保持の仮定が成立せず、拘束方向が乱れて拘束度の高さ方向の分布が非直線的となる領域。

なお、このことは、コンクリート壁面の拘束度分布を次の方針により予測できる可能性があることを意味している。すなわち、①まず、コンクリート壁面の拘束度分布を1軸モデルにより計算する、②

* 名城大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Meijo Univ., Dr.Eng.

** 矢作建設工業㈱建築事業本部施工本部 副主任・修士(工学)

Building Division, Yahagi Construction Co., Ltd., M.Eng.

次に、予め用意された設計資料を活用し、コンクリート壁面に関する諸条件を考慮して、上記①による計算値が適用できない領域（すなわち、端部）の位置や、その領域における拘束度の値などを把握する。

本研究では、既報⁴⁾に続く一連の研究の第2段階として、上記の主旨に沿った設計資料としてのコンクリート壁面の拘束度マップを作成した。すなわち、条件を様々に変化させたコンクリート壁面における拘束度分布をFEM解析により計算し、それらの結果を整理して、1軸モデルによる拘束度の計算値が適用できない領域（1軸モデルの計算値より拘束度が大きくて、収縮ひび割れが発生しやすい領域）をマッピングした。また、その領域における拘束度の値および拘束方向を表示した。

2. 拘束度の定義および本研究で想定するひび割れ予測の手順

拘束度は、次式のように、拘束ひずみ（応力に換算されるひずみ） $\epsilon_f - \epsilon_c$ と自由収縮ひずみ ϵ_f の比により定義される⁵⁾。

$$\lambda = \frac{\epsilon_f - \epsilon_c}{\epsilon_f} \tag{1}$$

ここに、 λ ：拘束度（拘束なし：0、完全拘束：1）、 ϵ_f ：自由収縮ひずみ、 ϵ_c ：全ひずみ（測定ひずみ）。

また、本研究では、既報⁴⁾と同様に、ひび割れの発生状況を、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説」⁵⁾の「3章 性能規定」に示された手順により予測することを想定している。したがって、収縮ひび割れ発生強度（割裂引張強度に、ひび割れ発生低減係数として通常0.7程度を乗じた値）と次式により求めた収縮拘束応力の比較により、ひび割れ発生の有無を判断することがその基本となる。

$$\sigma = \frac{E}{1+\phi} \lambda \epsilon_f \tag{2}$$

ここに、 σ ：収縮拘束応力（N/mm²）、 ϕ ：クリープ係数、 E ：ヤング係数（N/mm²）。

3. 解析概要

3.1 解析ケース

表1に解析要因とその水準を示す。本研究では、基礎を含む建物の1面の壁全体を解析対象とし、壁面の形状を表す L/H （壁面の幅/高さ）、「基礎の水平方向の軸剛性/地上部分の梁の水平方向の軸剛性の合計」（以下、剛性比という）、および層数・スパン数を変化させて解析を行った。

表1 解析要因とその水準	
要因	水準
L/H	0.5, 1, 2, 4, 8
剛性比	0.25, 0.5, 1, 2
層数・スパン数	1層1スパン(1F1S), 3層4スパン(3F4S), 6層8スパン(6F8S)

表2 解析ケース				
層数・スパン数	剛性比			
	0.25	0.5	1	2
1F1S		○		
3F4S	○	○	○	○
6F8S		○

※図中の直線は、拘束方向および拘束度の大きさを表す。
図1 コンクリート壁面の拘束度分布

表2に解析ケースを示す。表中に○印を示したケースについて L/H を0.5、1、2、4および8の5水準に変化させた。

3.2 解析方法

コンクリート壁面にひび割れが初めて発生する時点での拘束度分布の把握を目的として、ひび割れの発生は考慮せず、3次元FEM解析プログラム⁶⁾を用いて逐次弾性解析を行った。使用したプログラムは、ヤング係数、ポアソン比、自由収縮ひずみなどの材料特性値を入力値とし、剛性の異なる部材の変形や内部応力・ひずみを計算するものである。本研究では、解析で得られた各要素の最大主ひずみ（全ひずみ）から式(1)により拘束度を計算した。

3.3 解析モデル

図2に要素分割図の一例を示す。本解析では、平面応力状態を仮定し、壁面の片側半分を疑似的な2次元モデルに置き換えた。また、解析モデルの寸法は拘束度などの解析結果に影響を及ぼさないことから⁷⁾、解析モデルの高さは、すべてのケースで1,100mm（地上部分1,000mm+基礎部分100mm）一定とし、幅は、 L/H の水準に応じて変化させた。

解析モデルは、壁（無筋コンクリート）、梁・柱（鉄筋コンクリート）および基礎の要素で構成されたものとした。また、モデル化にあたっては、全てのケースで要素分割数を同一としたうえで、水平・垂直方向ともに均等間隔にメッシュ分割し（ただし、中心列の要素の幅は例外的に他の要素の1/2とした）、その分割したソリッド要素に対して、ケースに応じて各部材の要素を割り付けた。その際、層数・スパン数の変化に対応しやすいモデルとするために、梁および柱は1段または1列の要素とし、梁および柱要素は、配筋方向の剛性を鉄筋比（1.5%）に応じて増大させる形でモデル化した。

図2 解析モデル

なお、解析モデルの奥行きは部材にかかわらず一律（20mm）とし、梁要素では、梁せいが階高の20%、奥行きが壁部分の2.5倍であると仮定したうえで、その断面と剛性が等価になるようにヤング係数を調整した。また、解析条件を単純化するため、梁と柱の剛性が等しくなるように柱要素のヤング係数を定めた。基礎に関しては、水平方向の軸剛性が表1中に示した剛性比の水準から計算される値となるように、ヤング係数を定めた。

3.4 境界条件

図2に示したように、解析モデルのCL位置では、節点の水平方向を固定した。また、その下端では節点の垂直方向も固定した。

3.5 材料特性値

表3に材料特性値を示す。コンクリートのヤング係数、圧縮強度および乾燥収縮ひずみの時間関数には、土木学会「コンクリート標準示方書〔設計編〕」⁸⁾に示されている式を用いた。その際、コンクリートの自由収縮ひずみ（乾燥収縮ひずみ）は、材齢5日（型枠の取外し時期を想定）以降から発生するものとし、壁コンクリートの時間関数は、187日（乾燥期間182日）の時点で自由収縮ひずみが 1000×10^{-6} となるように設定した。また、梁・柱コンクリートの時間関数は、部材の厚みが壁よりも厚いことを考慮して定めた。図3に、これらの乾燥収縮ひずみの時間関数を図示する。なお、梁・柱要素は、配筋方向に対して、コンクリートの自由収縮ひずみが鉄筋により拘束された結果として生じる全ひずみの分だけ、部材として自由収縮するものとした。

また、クリープは、通常、コンクリート部材の収縮変形に対して大きな影響を与える。しかしながら、本研究の解析対象の場合、拘束体と非拘束体のいずれにもクリープが生じ、その収縮変形に対する影響は相殺される傾向にあると考えられる。また、既報⁴⁾における検討では、壁面の拘束度分布を調べるための実験の結果と、その実験を対象とした、クリープをごく簡略的にしか考慮していない解

表3 材料特性値			
特性値	コンクリート	鉄筋	基礎
ヤング係数 (kN/mm ²)	$E(t) = 4.7 \times f_c(t)^{0.5}$ ここに、 $f_c(t) = \frac{t}{4.5 + 0.95t} \times 26.64$	188	剛性比の水準から計算される値
ポアソン比	0.2	0.3	0.3
自由収縮ひずみ	$\varepsilon_f(t) = 1588 \times 10^{-6} \left\{ \frac{t-5}{a+(t-5)} \right\}$ ここに、 壁： $a=107.4$, 梁・柱： $a=138.9$	—	—

$E(t)$ ：ヤング係数 (kN/mm²)， t ：材齢 (日)，
 $f_c(t)$ ：圧縮強度 (N/mm²)， $\varepsilon_f(t)$ ：自由収縮ひずみ

図3 コンクリートの乾燥収縮ひずみの時間曲線

析の結果とに大きな差異は生じなかった。これらのことから、本解析では、コンクリートのクリープは考慮しなかった。

4. 解析結果

図4に、壁コンクリートの自由収縮ひずみが 800×10^{-6} になった時点における変形状況を、剛性比0.5の一部のケースについて示す。同図から、壁面下部の水平方向の収縮変形が基礎により拘束されている様子がわかる。

図5に、図4と同一時期・同一ケースにおける拘束度分布を示す。

図4 変形状況（剛性比0.5の一部のケース）

図5 拘束度分布（剛性比0.5の一部のケース）

ここで、同図は、全てのケースで、縦横の比が $L/H=2$ と同じになるように壁面の形状を修正して表示してある。また、図中の直線の傾きは、最大主ひずみ方向（すなわち、拘束方向）を表し、長さは拘束度の大きさを表している（正の値のみを表示する）。同図から、全てのケースにおいて、基礎による拘束の影響により壁面下部の拘束度が大きくなっていることがわかる。また、壁面下端部（図中における右端の下部）では拘束度が極端に大きくなっている。さらに、 L/H がある程度以上大きい場合、壁面の端部以外の領域では拘束方向が水平に近いが、端部では拘束方向が乱れている様子が見て取れる。なお、壁面の拘束度分布が以上のような様相となるのは、既報⁴⁾で報告したように、壁面の端部以外の領域では、曲げ変形が卓越し、平面保持の仮定が十分成立するのに対し、端部では、曲げよりもせん断変形が卓越し、平面保持の仮定が成立しないことによる。

5. 1軸モデルによる拘束度の計算

筆者らは、既報⁴⁾において、壁面を1軸モデルに置き換えて、その水平方向の拘束度を、Compensation Plane法⁹⁾（マスコンクリートの温度応力を計算する手法の一種）と同様の原理により計算する方法を提案した。また、この方法により、壁面の端部以外の領域における拘束度を計算可能であることを報告した。本研究では、各種要因の変化に伴って、この計算方法により拘束度を計算できない領域がどのように変化するかを調べるために、FEM解析と同一のケースに対して、この計算方法を用いて（すなわち、後出の式(3)により）水平方向のひずみ（全ひずみ）を計算し、さらに、式(1)により拘束度を求めた。

図6(a)に計算モデルを示す。このモデルは、建物の1面の壁全体を

図6 計算方法の概略

表4 記号（i番目の部材の形状・物性関係）

記号	説明
D_i	部材のせい (cm)
b_i	部材の幅 (cm)
A_i	部材の断面積 = $b_i \times D_i$ (cm ²)
h_i	部材中心の壁面モデル底面からの高さ (cm)
I_i	部材の断面2次モーメント (cm ⁴)
E_i	部材のヤング係数 (N/cm ²)
ε_{fi}	部材の自由収縮ひずみ

基礎を含めてモデル化するものであり、高さ方向に積層された n 個の部材により構成される（各部材の断面は四角形であるとする）。また、その構成部材としては、壁、梁および基礎（最下層）が想定される。そして、自由収縮ひずみは、例えば図6(b)に示すように、各部材内部では均一に分布しているものとする。なお、表4に、下から i 番目にある部材の形状および物性を表す記号を示す。また、本研究で用いた1軸モデルによるひずみの計算式⁴⁾を以下に示す。

$$\varepsilon_c = \bar{\varepsilon} + \kappa(y - y_0) \quad (3)$$

ここに、

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i E_i \varepsilon_{fi}}{\sum_{i=1}^n A_i E_i} \quad (4)$$

$$\kappa = \frac{\sum_{i=1}^n A_i E_i \varepsilon_{fi} (h_i - y_0)}{\sum_{i=1}^n E_i \left\{ I_i + A_i (h_i - y_0)^2 \right\}} \quad (5)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n A_i E_i h_i}{\sum_{i=1}^n A_i E_i} \quad (6)$$

ここに、 ε_c ：全ひずみ、 $\bar{\varepsilon}$ ：軸方向の平均ひずみ、 κ ：曲率（1/cm）、 y_0 ：壁面モデルの中立軸の底面からの高さ（cm）。

図7に、1軸モデルにより計算した拘束度（水平方向）の高さ方向の分布を示す。1軸モデルでは、拘束度の高さ方向の分布は、壁面のどの水平方向の位置においても同一であり、また、壁面の幅（すなわち、 L/H ）には左右されないのので、図中には、剛性比、層数・スパン数ごとに計算結果を1本の線で示してある。

図7(a)から、剛性比が大きいと、基礎による拘束が大きくなることに起因して、壁面下部の拘束度が大きくなることがわかる。また、図7(b)から、層数・スパン数が変化しても、拘束度分布の計算結果に大きな差異が生じないことがわかる。

図8は、 L/H の大きいケースに着目し、1軸モデルによる計算およびFEM解析によって得られた拘束度の高さ方向の分布を重ねて示したものである（3F4S、剛性比0.5、 $L/H=8$ ）。ここで、解析結果については、中央スパンの中心の列の値を示してある。また、解析値の分布が直線的であるということは、平面保持を仮定した1軸モデルによる拘束度の予測が可能な領域であることを意味している。図8から、解析値は直線的に分布しており、また、計算値とほぼ一致している

(a) 剛性比の影響 (3F4S)

(b) 層数・スパン数の影響 (剛性比0.5)

図7 1軸モデルによる水平方向の拘束度の計算値

図8 水平方向の拘束度の高さ方向の分布 (3F4S・剛性比0.5・ $L/H=8$)

(a) 1F1S・剛性比0.5

(b) 3F4S・剛性比0.5

(c) 6F8S・剛性比0.5

(d) 3F4S・剛性比0.25

(e) 3F4S・剛性比1.0

(f) 3F4S・剛性比2.0

図9 特異領域（拘束度マップ）

(a) 剛性比の影響 (3F4S)

(b) 層数・スパン数の影響 (剛性比0.5)

図10 下端部の特異領域における拘束度の計算値

(a) 剛性比の影響 (3F4S)

(b) 層数・スパン数の影響 (剛性比0.5)

図11 下端部の特異領域における拘束度の解析値と計算値の差

ことがわかる。このことから、 L/H が比較的大きくて、扁平な形状の壁面の中央付近（すなわち、曲げ変形が卓越し、平面保持の仮定が成立する領域）では、既報⁴⁾で既に報告したように、1軸モデルによる拘束度の計算値と実際の拘束度がほぼ等しくなるといえる。

6. 拘束度マップ

6.1 拘束度の解析値が計算値より大きい領域

図9に、拘束度のFEMによる解析値（以下、単に解析値という）が1軸モデルによる計算値（以下、単に計算値という）より大きい領域を、その差の閾値を0.2としてマッピングした結果を示す。同図は、 L/H の異なるケースを1つの図中に重ねて表示するために、図5の場合と同様に、縦横の比が $L/H=2$ と同じになるように壁面の形状を修正して示してある。

この拘束度マップによると、せん断変形が卓越して平面保持の仮定が成立しない壁面の下端部と上端部（図中における右端の下部および上部）に、拘束度の解析値が計算値より大きい領域（以下、特異領域という）が存在する。また、特異領域に関して次のことがいえる。

- ① L/H が大きいほど、上下端部の特異領域の横幅の、壁面の横幅に対する比率が小さくなり、また、縦幅が広がる。
- ② 層数・スパン数が同じ場合、剛性比が大きいと、上端部の特異領域が縦横に拡大する。ただし、下端部の特異領域の位置や大きさはほとんど変化しない。
- ③ 層数・スパン数が多くなると、下端部の特異領域は梁・柱により分断されるが、その領域全体の占める位置はほとんど変化しない。

なお、この拘束度マップを利用した実務的な収縮ひび割れ制御対策としては、次の方針が考えられる。すなわち、①建物の壁面全体に対しては、1軸モデルにより拘束度を求めてひび割れ発生状況を予

測し、適切な対策を講じる。②これとは別に、拘束度の特異領域に対しては、別途、局所的・追加的な対策を施す。

6.2 下端部の特異領域

(1) 拘束度の値

下端部の特異領域では、上端部の特異領域に比べて拘束度の値が大きいため、本節では、この領域に着目してより詳細な検討を行った。

図10に、下端部の特異領域における拘束度の計算値を示す。また、図11に、下端部の特異領域における拘束度の解析値と計算値の差を示す。ここで、拘束度は、特異領域の範囲内においてもある程度の幅をもって分布しているため、図10にはその平均値を示し、図11には、平均値の差（解析値の平均値－計算値の平均値）および最大値との差（解析値の最大値－計算値の平均値）の2種類の値を示してある。

図11(a)によると、 L/H が小さいほど（すなわち、縦長な形状であるほど）、最大値との差は大きくなっているが、平均値の差はあまり変化していない。また、剛性比が変化しても平均値の差、最大値との差のいずれもほとんど変化していない。このことから、下端部の特異領域における拘束度の平均値は、1軸モデルによる計算値に、ある一定値を足し合わせることでより推定できるといえる。また、その値としては0.4程度を見込んでおけば概ね問題ないものと考えられる。なお、図11(b)からわかるように、解析値と計算値の差は、層数・スパン数が増加するとやや小さくなる傾向となっている。

(2) 拘束方向

図12に、下端部の特異領域における拘束方向（最大主ひずみ方向）の角度の平均値および最大・最小値と L/H の関係を示す。同図から、いずれのケースにおいても平均的に角度 $30\sim 35^\circ$ の方向に拘束が生じていることがわかる。また、このことから、例えば、下端部の特異領域にひび割れ補強筋を配置してひび割れ幅を抑制するという

図12 下端部の特異領域における拘束方向

対策を講じる場合、どのような壁であっても、その配筋角度を $30\sim 35^\circ$ 程度とすれば、ひび割れの制御効果が最大化されるといえる。

7. まとめ

本研究では、条件を様々に変化させたコンクリート壁面における拘束度分布をFEM解析と1軸モデルにより計算し、それらの結果を整理して、収縮ひび割れ制御設計資料とするための拘束度マップを作成した。また、作成した拘束度マップに関して以下の知見を得た。

(1) 壁面全体を1軸モデルに置き換える方法により計算した値よりも拘束度が大きくなる領域（特異領域）は、壁面の下端部と上端部に分布する。

(2) 下端部の特異領域の位置や大きさは、剛性比（基礎の水平方向の軸剛性/地上部分の梁の水平方向の軸剛性の合計）が変化してもほとんど変化しない。また、この領域は、壁面の形状が扁平であるほど垂直方向に広がる。さらに、層数・スパン数が増加すると、下端部の特異領域は梁・柱により分断されるが、その領域全体の占める位置はほとんど変化しない。

(3) 下端部の特異領域における拘束度の平均値は、1軸モデルによる計算値に対してある一定値（0.4程度）を足し合わせた値となる。また、この領域における拘束方向は、どのような壁であっても平均的に $30\sim 35^\circ$ の角度となる。

謝辞

本研究の実施に際し、名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科・石川靖晃教授に解析プログラムを提供して頂いた。ここに付記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中西正俊：コンクリートの収縮ひび割れ発生に関連してのFEMによるモデル架構の拘束率の推定，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 169-170，1976. 10
- 2) 鈴木計夫，大野義昭，清水久博：コンクリートの乾燥収縮ひび割れ発生に関するモデル架構の拘束率（有限要素法解析による推定），日本建築学会近畿支部研究報告集，pp. 5-8，1989. 5
- 3) 尹重建，岸本一蔵，大野義昭：RC造壁の乾燥収縮ひび割れ本数算定のための拘束度評価，コンクリート工学年次論文集，Vol. 31，No. 1，pp. 685-690，2009. 7
- 4) 寺西浩司，山田一徳：乾燥収縮するコンクリート壁部材の拘束度分布に関する研究，日本建築学会構造系論文集，Vol. 75，No. 653，pp. 1181-1188，2010. 7
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説，2006. 2
- 6) 田辺忠顕：初期応力を考慮したRC構造物の非線形解析法とプログラム，技報堂出版，2004. 3
- 7) 中崎大樹，寺西浩司，山田一徳，今井一登：壁部材の拘束度分布に関する研究，その2. 実験およびFEM解析の結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp. 317-318，2009. 8
- 8) 土木学会，コンクリート標準示方書〔設計編〕（2007年版），2008. 3
- 9) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書，1985. 11

MAPPING OF RESTRAINING RATIO FOR CONCRETE WALLS WITH DRYING SHRINKAGE

Kohji TERANISHI and Yuichi NAKAMURA***

* Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Meijo Univ., Dr.Eng.

** Building Division, Yahagi Construction Co., Ltd., M.Eng.

The free shrinkage deformation occurring in concrete members is generally restrained by members around one with different stiffness and shrinkage rate, and a restraining ratio which expresses degree of restraining has a major influence on state of shrinkage cracking. Therefore, in order to predict the shrinkage cracking, it is important to get the restraining ratio of concrete members in addition to free shrinkage strain of concrete.

With this background, in order to prepare eventually a design material for controlling shrinkage cracking with the organized distribution of restraining ratio, an experimental and analytical study to find out the regularity of distribution of restraining ratio in concrete walls was previously performed by authors. Additionally, it was noted that the restraining ratio in a wall with drying shrinkage should be reasonably considered by dividing it into the following two areas.

(1) Non edge area: the area whose restraining direction is horizontal and distribution of vertical direction of restraining ratio is linear because bending deformation is dominant and Bernoulli-Euler's hypothesis holds. The distribution of restraining ratio in this area can be calculated by replacing a concrete wall with a uniaxial model.

(2) Edge area: the area whose restraining direction is turbulent and distribution of vertical direction of restraining ratio is non-linear because shear deformation is dominant and Bernoulli-Euler's hypothesis does not hold.

This signifies that the distribution of restraining ratio in concrete walls can be potentially predicted by the following policy: (1) First, the distribution of restraining ratio in a concrete wall is calculated by the uniaxial model, (2) Next, the position of areas to which the value calculated at above (1) can be not applied (i.e. edge area) and the value of restraining ratio in those areas is obtained from the design material prepared previously, considering various conditions of concrete walls.

In this study, the map of distribution of restraining ratio in concrete walls, which is the design material in line with above policy, was created. In particular, the distribution of restraining ratio in concrete walls with various conditions was calculated by FEM analysis. Moreover, the areas to which the value calculated by the uniaxial model can be not applied (peculiar areas) were shown by organizing that result, and restraining ratio and restraining direction in those areas were shown.

The distribution of restraining ratio shown in the map has the following characteristics.

(1) The peculiar areas occur at the upper and lower parts of both ends of a wall.

(2) The position and largeness of peculiar area at lower part of both ends of a wall hardly changes depending on stiffness balance between members. Additionally, the area extends vertically as the shape of a wall is horizontally long. Furthermore, though the area is decoupled by columns and beams with increased number of layer and span, the position of that entire area hardly changes.

(3) The average restraining ratio at the peculiar area at lower part of both ends of a wall is obtained by adding a constant value (approximately 0.4) to the restraining ratio calculated by the uniaxial model, and the average restraining direction at the area is 30° to 35° in any wall.

(2016年5月6日原稿受理, 2016年8月10日採用決定)