

水平力を受けるRC構造物の床剛性評価について

— 床スラブが梁の片側だけにつく場合 —

鈴木 邦康^{*1} 定岡 元気^{*2}

On the Evaluation of Floor Rigidity of Reinforced Concrete Structure under Horizontal Loading

— The Case in which the Slab is Attached Only to One Side of the Girder —

Kuniyasu SUZUKI Genki SADAOKA

Abstract —The purpose of this paper is to clarify the floor rigidity for the structural analysis in the case in which the slab is attached only to one side of the girder. First, the ratio of the beam rigidity with floor for that without floor (the extra coefficient) was examined based on the results of finite element analysis of model composed of column, beam and floor. Next, the equation that estimated the extra coefficient was proposed based on the results of calculation in considering rigid zone.

Key words : Floor rigidity, Structural analysis, Reinforced concrete structure

1. はじめに

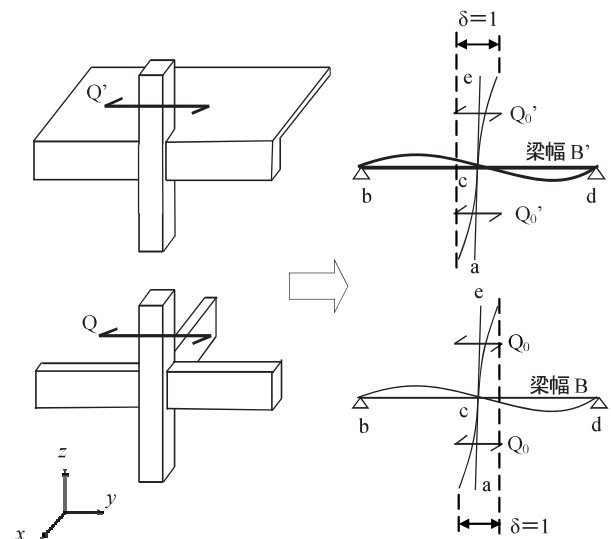
著者らは既報¹⁾において、水平力を受ける構造物の線材置換解析に際して、床スラブが梁の両側にある場合を対象に、床剛性評価の検討を行った。

しかし、吹抜けがある箇所や構造物の外ラーメンでは、床スラブは梁の片側のみに取り付けられている。そこで本報では、床スラブが梁の片側だけにつく場合の床剛性評価について検討した。

2. 床スラブ剛性の評価方法

床スラブ剛性の評価は既報¹⁾と同様に行う。まず、梁間方向1スパンで桁行方向及び高さ方向に等間隔で無限に続く構造物から図1(a)に示す柱・梁・床スラブから成る部分及び同断面の柱・梁から成る同様の部分を取り出して、単位の層間変位を与えて三次元有限要素法により解析し、それぞれの柱せん断力を求める。前者の柱せん断力を Q' 、後者のそれを Q とする。次に上記の構造物を図1(b)のように線材置換し、梁幅の

み変化させ、単位の層間変位を与えた時の柱せん断力を求める。このとき梁幅を実断面の幅(B)としたときの柱せん断力を Q_0 、梁幅を B' としたときのそれを Q_0' とする。これより、 $Q'/Q=Q_0'/Q_0$ となるとききの B'/B を梁剛性割増係数 ϕ と呼ぶことにする。この ϕ は床スラブの有効幅を考慮した場合のそれに相当する。



(a) 構造体モデル

(b) 線材置換モデル

図1 床剛性評価方法

^{*1} 釧路高専建築学科

^{*2} 釧路高専専攻科建設・生産システム工学専攻

3. 解析モデル

3.1 有限要素法による解析

解析に用いた部材モデルを図2に示す。床スラブを有する部材モデルは、諸元を表1に示すように変化させ、それらを組み合わせた134モデルである。なお、床スラブの無いものについてもほぼ同数のモデルについて解析した。その際、要素分割は床スラブ有りのモデルと同じくした。有限要素法解析で用いた要素は、要素内でひずみが線形変化する自由度24の直方体要素である。要素分割の一例を図3に示す。

解析に際し、図3に示すa-a'面とb-b'面間及びd-d'面とe-e'面間にはそれぞれ連続条件を設定し、f-f'面のx方向変位並びに柱・梁接合部中心点のy及びz方向変位を拘束した。そしてa-a'面とb-b'面間では対応する節点間のy方向に単位の変位差を与えた。

3.2 線材置換による解析

線材置換解析では柱・梁からなるモデルを基本とし、床スラブを有するものについては梁幅のみを変えた。解析に際しては図1(b)に示したようにb, d点のz方向変位及びc点のy, z方向変位を拘束した。そして、a-e間に単位の変位差を与えた。なお、線材置換解析は、柱・梁接合部にRC規準²⁾による剛域を考慮した場合、北川ら³⁾の剛域を考慮した場合、及び剛域なしとした場合の3種とした。また、有限要素法解析

では曲げ及びせん断変形が含まれているので、線材置換解析でも両者を考慮した。

4. 解析結果の梁剛性割増係数について

図4(a)~(h)は一例としてスパン、床スラブ厚、柱せい、柱幅、梁せい、梁幅、直交スパン及び柱長さを変数とした場合の梁剛性割増係数の変化を示したものである。図には線材置換解析で材端にRC規準による剛域を考慮した場合(ϕ_R)、北川らの剛域を考慮した場合(ϕ_T)、剛域なしとした場合(ϕ_0)及びRC規準に示されている有効幅を用いて算定した値(ϕ)を併記した。

同図より、梁剛性割増係数は部材断面が同一であっても、その算出方法の違いによって異なることがわかる。本報の3種の解析値の中では、 ϕ_0 値が最も大きく、次いで ϕ_T 値、 ϕ_R 値の順になっている。RC規準による ϕ 値と本報の解析値より求めた梁剛性割増係数を全モデルについて比較すると、図4にも見られるようにいずれも ϕ 値より小さく算定されている。このことから、線材置換解析に際して、RC規準に示されているスラブ有効幅を用いて算定される梁剛性割増係数 ϕ 値を用いた場合、床スラブ剛性を過大評価することになると考えられる。そこで、線材置換解析に適切な床剛性を取り入れるため、本解析で得られた ϕ_T 値に基づいて梁剛性割増係数推定式を導くこととする。

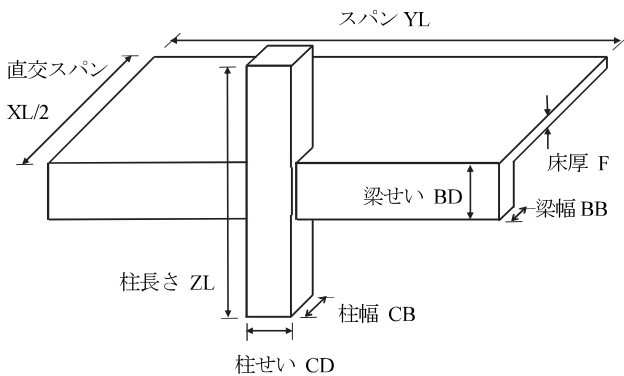


図2 部材モデル

表1 解析モデル各部の寸法

部材名	記号	各部の寸法
直交スパン	XL	200~800 @100
スパン	YL	200~800 @100
柱長さ	ZL	290, 340, 390
柱幅	CB	50, 60, 70
柱せい	CD	50, 60, 70
梁幅	BB	30, 35, 40, 50
梁せい	BD	60, 70, 80, 92.5
床スラブ厚	F	10, 15, 20

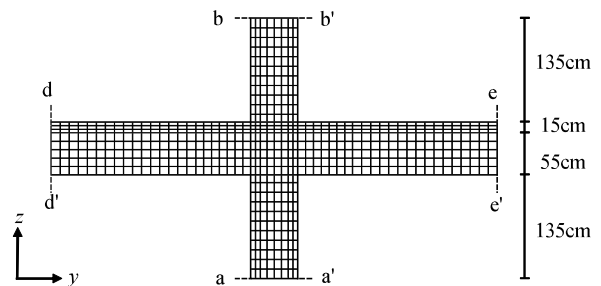
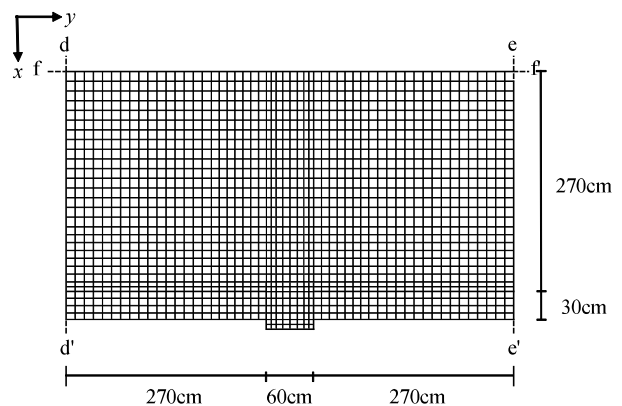


図3 要素分割例

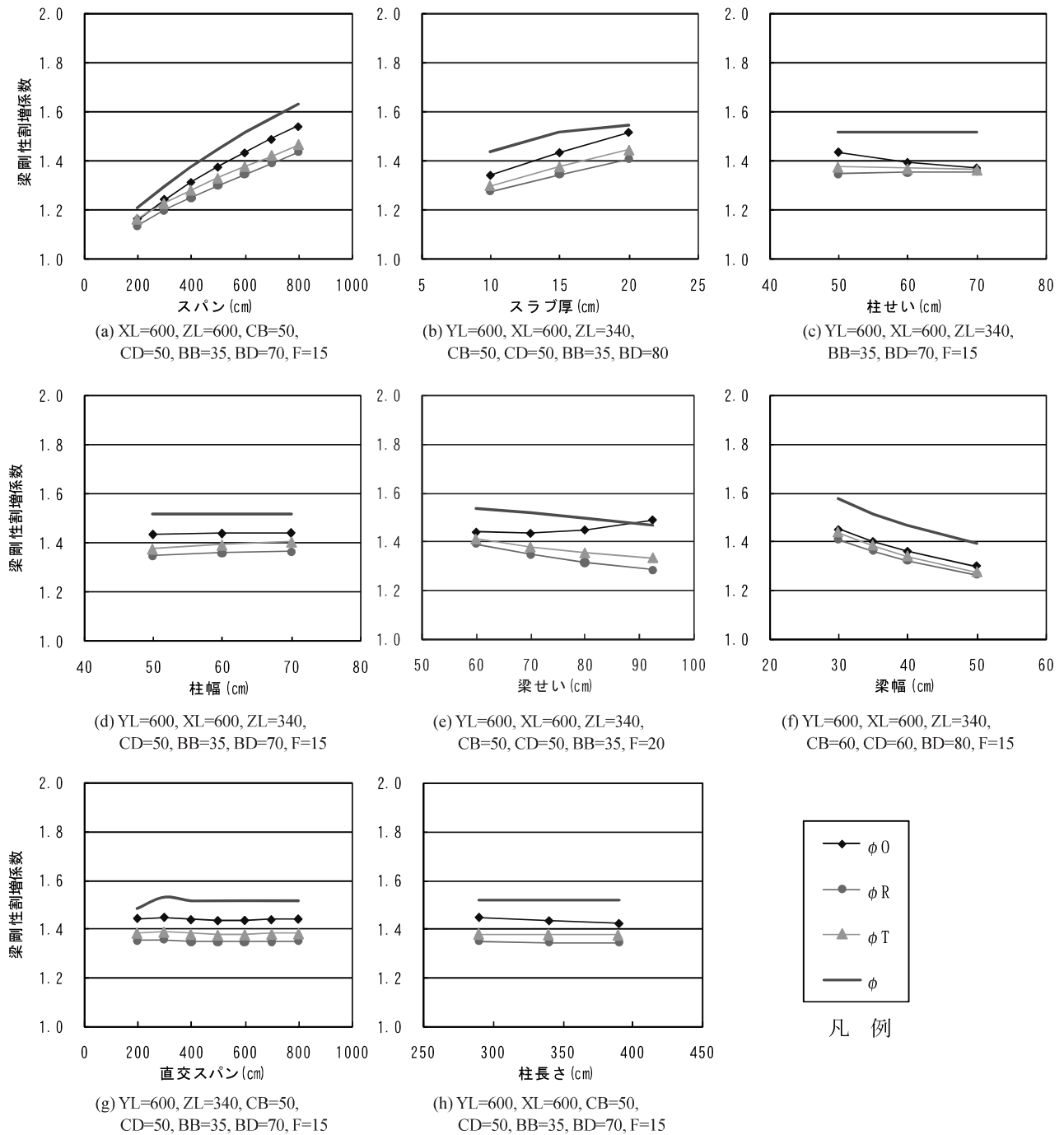


図4 梁剛性割増係数と諸元の関係

5. 梁剛性割増係数推定式の誘導

表2に直交スパン600cm, 柱長さ340cm, 梁断面35cm×70cmのものについて, スパン, 柱断面, 及び床スラブ厚を変化させた場合の ϕ_T 値を示す。これによると柱断面積のみが変化しても柱断面が相似形であれば梁剛性割増係数の変化は小さい。従って, 以下では柱断面が60cm×60cmのモデルの値を基本として推定式の誘導を進める。

5.1 部材剛度による無次元化及び

床スラブ厚による補正

図5は表2の柱断面60cm×60cmの梁剛性割増係数

について, 横軸(X)に(梁剛度 K_b /柱剛度 K_c)を取り床スラブ厚をパラメータとして示したものである。以下では, このときの柱剛度($K_c=3176.47$)を定数として取り扱うこととし, K_b/K_c をYと表示する。図に見られるように床スラブ厚が変わっても梁剛性割増係数 ϕ_T とX軸の値との間には同じような傾向が見られ, 床スラブ厚の違いに応じてX軸の値を調整すれば, それらは一つの曲線で表現できる。そこで床スラブ厚15cmの場合の近似式を $\phi_{cal}=a \cdot X^b$ の形で表すとしてa, bを求めた結果, $a=1.2436, b=-0.1693$ を得た。このときの式及び曲線を図5中に示した。

次に、床スラブ厚の違いを $X=Y \times (F/15)^i$ で表示するとして検討した結果 $i=-0.8$ を得た。このときの曲線と ϕ_T 値との関係は図6のようになり、 ϕ_T 値は良く曲線に乗っている。

表2 ϕ_T とスパン・柱断面・スラブ厚との関係

スパン (cm)	柱断面 (cm ²)	床厚(cm)		
		10	15	20
200	50×50	1.1263	1.1631	1.2013
	60×60	1.1232	1.1639	1.2060
	70×70	1.1176	1.1609	1.2077
300	50×50	/	1.2259	/
	60×60		1.2281	
	70×70		1.2276	
400	50×50	1.2210	1.2797	1.3423
	60×60		1.2837	
	70×70		1.2859	
500	50×50	/	1.3286	/
	60×60		1.3341	
	70×70		1.3384	
600	50×50	1.2986	1.3754	1.4430
	60×60	1.3038	1.3820	1.4522
	70×70	1.3081	1.3876	1.4598
700	50×50	/	1.4208	/
	60×60		1.4279	
	70×70		1.4351	
800	50×50	1.3782	1.4645	1.5378
	60×60	1.3854	1.4727	1.5473
	70×70	1.3922	1.4807	1.5571

XL=600, ZL=340, BB=35, BD=70

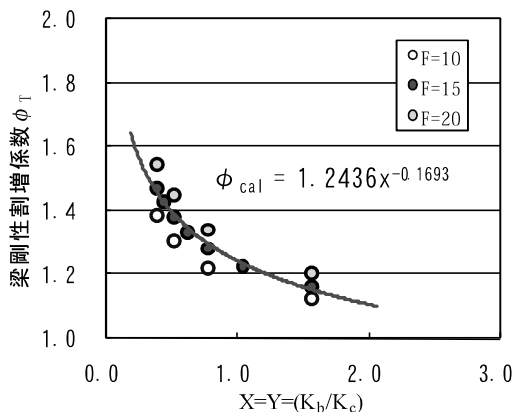


図5 ϕ_T と X の関係

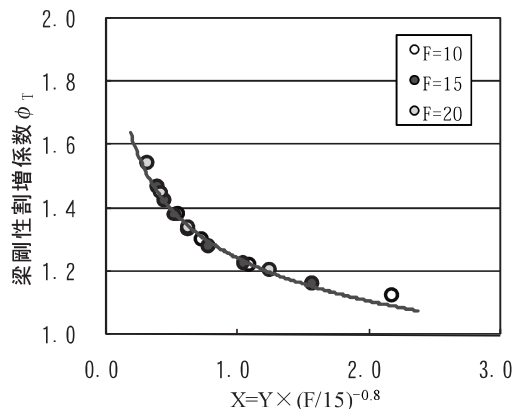


図6 床スラブ厚の違いによる補正結果

5.2 梁断面の違いによる補正

表3,4に梁断面を変化させた場合の梁剛性割増係数 ϕ_T を示す。図7に梁幅を35cmとし、横軸にこれまでに設定したXを取り、梁せいを60, 80, 92.5cmと変化した場合の ϕ_T 値を示す。図中の実線はこれまでに設定した曲線 ϕ_{cal} である。この図に見られるように梁せいが異なる場合の ϕ_T 値も実線と同じような傾向の曲線上にある。そこで $X=Y \times (F/15)^{-0.8} \times (BD/70)^i$ として、iを種々変化した結果 $i=-2.1$ とした時に良い近似が見られた。このときの曲線 ϕ_{cal} と ϕ_T との関係は

表3 ϕ_T 梁せい・スラブ厚との関係

梁断面 (cm ²)	床厚(cm)		
	10	15	20
35×60	1.3322	1.4176	1.5023
35×80	1.2828	1.3568	1.4201
35×92.5	1.2630	1.3344	1.3937

XL=600, YL=600, ZL=340, CD=60, CB=60

表4 ϕ_T と梁せい・梁幅との関係

梁幅 (cm)	梁せい\ (cm)			
	60	70	80	92.5
30	1.4746	1.4356	1.4086	1.3843
40	1.3713	1.3381	1.3147	1.2934
50	1.3027	1.2734	1.2524	1.2331

XL=600, YL=600, ZL=340, CD=60, CB=60, F=15

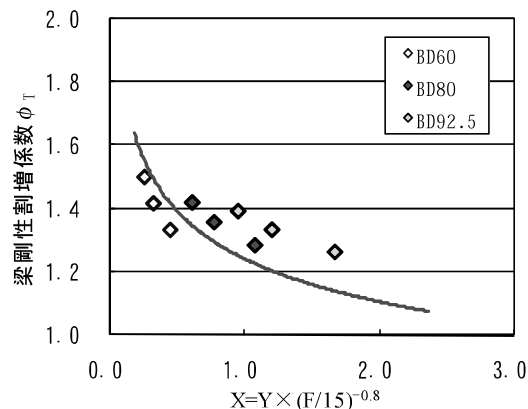


図7 ϕ_T と X の関係

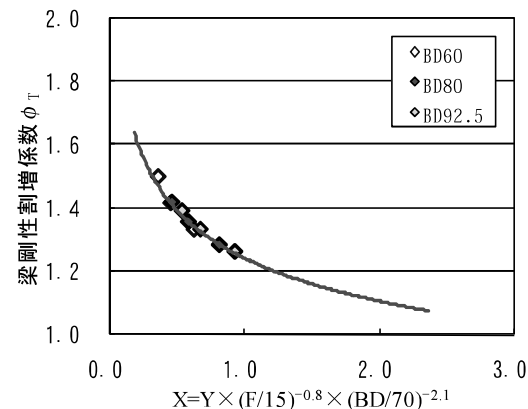


図8 梁せいの違いによる補正結果

図8のようになる。

図9は表4に示す梁幅30, 40, 50cmと変化した場合の梁剛性割増係数 ϕ_T 値を、横軸にこれまでに設定したXを取り、プロットしたものである。実線は前述と同様である。図に見られるように梁幅が変化しても概ね実線近辺に ϕ_T 値はあるが、これについてもこれまでと同様の手法により、これまでのX軸の値に $(BB/35)^i$ を乗じ、 $X=Y \times (F/15)^{-0.8} \times (BD/70)^{-2.1} \times (BB/35)^i$ とする。その結果、 $i=0.4$ のときに良い一致を見た。そのときの曲線 ϕ_{cal} と ϕ_T との関係を示すと図10のようになる。

5.3 柱断面辺長比の違いによる補正

最初に述べたように柱断面が正方形の場合、その断面積の大小に関わらず梁剛性割増係数 ϕ_T 値は殆ど同値であった。そのことを踏まえ、ここでは柱断面辺長比 μ （柱幅／柱せい）のみを考慮して梁剛性割増係数の補正を行う。表5はスパン600cm、直交スパン600cm、柱長さ340cm、梁断面35cm×70cm、床スラブ厚15cmとして柱断面を変化させた場合の ϕ_T 値である。表に示すように辺長比の大きいものほど ϕ_T 値も大きくなっている。この影響をこれまでと同様に、X軸の値に $(\mu)^i$ を乗じ、 $X=Y \times (F/15)^{-0.8} \times (BD/70)^{-2.1} \times (BB/35)^{0.4}$

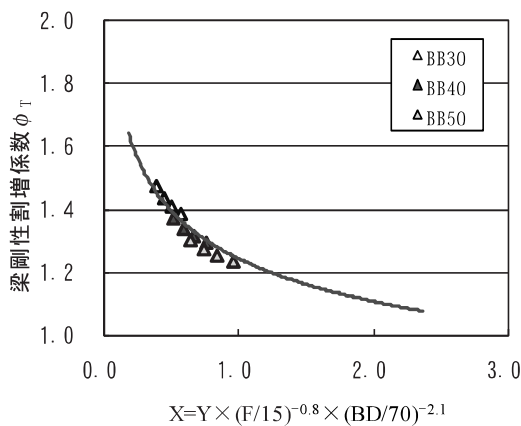


図9 ϕ_T とXの関係

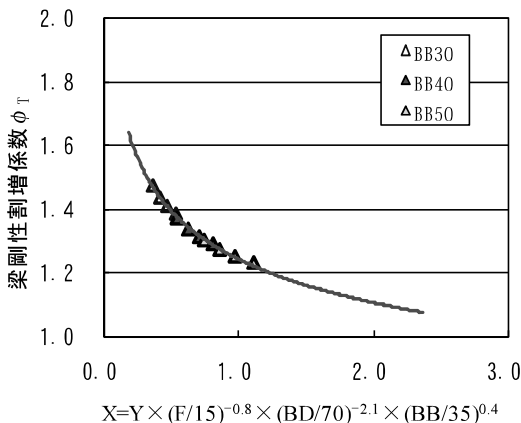


図10 梁幅の違いによる補正結果

$\times (\mu)^i$ として補正することとし、 i を変化させて $i=-0.2$ を得た。このときの曲線 ϕ_{cal} と ϕ_T 値の関係は図11のようになる。

5.4 直交スパンの違いによる補正

表6に床スラブ厚をパラメータとして、 ϕ_T 値と直交スパン長さの関係を示す。同表に見られるように直交スパン長さの違いによる ϕ_T 値の変化は極僅かである。したがって、直交スパン長さの違いによる補正は行わないこととする。

以上より、梁剛性割増係数推定式 ϕ_{cal} は、次のようになる。

$$\phi_{cal} = a \cdot X^b \cdot \dots \cdot (1)$$

ここに、 $a=1.2436$, $b=-0.1693$

$$X = Y \times (F/15)^{-0.8} \times (BD/70)^{-2.1} \times (BB/35)^{0.4} \times (\mu)^{-0.2}$$

$$Y = (\text{梁剛度 } K_b / \text{柱剛度 } K_c), \quad K_c = 3176.47 \text{ cm}^3$$

5.5 推定式の精度

解析モデルについて推定式による ϕ_{cal} 値と ϕ_T 値を

表5 ϕ_T と柱断面との関係

柱断面 (cm ²)	辺長比	ϕ_T
50×70	0.714	1.3635
50×60	0.833	1.3683
60×70	0.857	1.3770
70×60	1.167	1.3929
60×50	1.200	1.3904
70×50	1.400	1.4024

XL=600, YL=600, ZL=340,
BB=35, BD=70, F=15

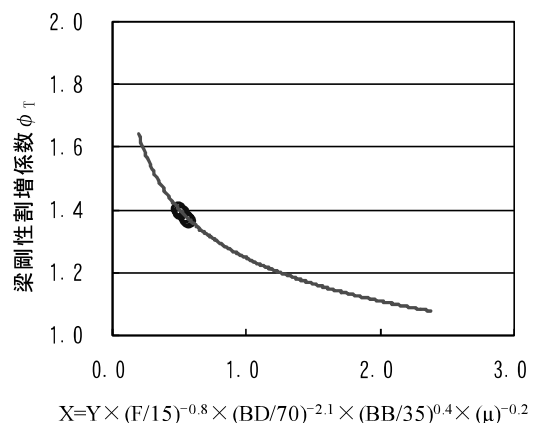


図11 柱辺長比の違いによる補正結果

表6 ϕ_T と直交スパンとの関係

直交スパン (cm)	床厚(cm)		
	10	15	20
200	1.3355	1.3919	1.4269
300	—	1.3948	—
400	1.3152	1.3854	1.4460
700	—	—	—
800	1.3060	1.3864	1.4579

YL=600, ZL=340, CD=60, CB=60, BB=35, BD=70

比較した結果、 ϕ_T/ϕ_{cal} の値はいずれのモデルでも1.0に極めて近く、その比の平均、標準偏差、変動係数は、推定式を導くのに用いた52モデルでは1.002, 0.008, 0.798%となり、推定式を導くのに用いなかった82モデルでは1.008, 0.027, 2.678%となった。

これより、本推定式は解析した部材寸法及びその近辺の部材寸法のものに対しても十分な精度を有していると考えられる。

6. おわりに

以上、床スラブが梁の片側だけにつく場合を対象として、柱・梁・床スラブから成る構造体モデルを有限要素法解析し、その結果を利用して床スラブによる梁剛性割増係数について検討するとともに、その推定式を誘導した。結果をまとめると次のようになる。

1) 梁剛性割増係数は、部材断面が同一であっても、線材置換解析時の算出方法の違いによって異なる。

2) RC 規準の梁剛性割増係数は、本報のそれと比較すると、モデルの形状に拘らず小さく算定される。

3) 本報の解析に基づく梁剛性割増係数を用いた梁剛性割増係数推定式は、それを導くのに使用しなかった諸元のモデルに対しても十分な精度を有している。

謝 辞

本報の解析の一部は、平成20年度釧路高専校長裁量経費により行いました。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木, 大築, 村上: 水平力を受けるRC構造物の線材置換解析に際しての床剛性評価について, 日本建築学会技術報告集, 第18号, 2003.12.
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1999.
- 3) 北川, 大築, 鈴木: 水平力を受ける鉄筋コンクリート架構の剛域に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第12号, 2001.1.