下フランジにドッグボーン型補強を設けた合成梁の等価線材モデル

|  |  |
| --- | --- |
| ドッグボーン、RBS、合成梁 | 蕪木大河＊　　望月清佳＊ |
| 等価断面二次モーメント、梁端破断防止対策 | 山下哲郎＊＊ |

１．はじめに

本研究では、ドッグボーン(以下、RBS)を設けた工学院大学新宿校舎（以下、新宿校舎）の全体解析を行うために、下フランジにRBSを設けた合成梁の等価断面二次モーメントの算出方法の提案を目的とする。

2．合成梁とRBSの形状

RBSの形状はSAC1)2)が暫定的に推奨している円弧状とし、下フランジにのみRBSを設ける。図1にRBSの形状を示し、柱のフェイスからRBSが始まる端までの距離を$a'$、RBS長さを$b'$、切り欠き幅を$c$とする。

RBSの切り欠き半径をRとし、切り欠き幅yを式(1)より算出する。

$$ y=\sqrt{R^{2}-x^{2}}-d (1)$$

ここで、$R={\left(b'^{2}+4c^{2}\right)}/{8c}$、$d={\left(b'^{2}-4c^{2}\right)}/{8c}$とする。

等価断面二次モーメント算出のために図2のようにRBS形状を直線状に近似する。RBS形状を直線状としたときの切り欠き幅を$e$とする。

合成梁の断面図と記号の定義を図3に示す。



図1　RBS形状

図2　近似後のRBS形状



中立軸

鉄骨梁

重心

a)$α-α'$断面　 　　b)$β-β'$断面　　 c)$γ-γ'$断面

図3　合成梁断面図

４．等価断面二次モーメントの算出

　RBS全区間で中立軸が床スラブ外にあるとし、負曲げを受けた際は、鉄骨梁のみとして計算を行う。

　RBS部分の中立軸位置と鉄骨梁重心位置を二次曲線に近似して正曲げと負曲げを受けた際の等価切り欠き幅を算出し、等価断面二次モーメントを算出する。

＊：工学院大学建築学部建築学科学部際，＊＊：工学院大学建築学部建築学科教授

4.1正曲げを受けた時の等価切り欠き幅$E'$の算出

　RBS部分の床スラブ上端から中立軸までの距離$X\_{n}^{'}$を$\left(-\frac{b^{'}}{2},x\_{n}\right),\left(0,\right),\left(\frac{b^{'}}{2},x\_{n}\right)$の3点を通るように二次曲線とし、式(2)より算出する。

$$ X\_{n}^{'}=\frac{4\left(x\_{n}-\right)}{b'^{2}}x^{2}+ (2)$$

ここで、$$を切り欠き幅$c$の時の床スラブ上端から中立軸までの距離とする。

　等価切り欠き幅$E'$のときの床スラブ上端から中立軸までの距離を$X\_{n}^{''}$とする。範囲を$-{b^{'}}/{2}\leq x\leq {b^{'}}/{2}$とし、直線$X\_{n}^{'}=x\_{n}$と式(2)で囲まれた面積を$S\_{1}$、直線$X\_{n}^{'}=x\_{n}$と直線$X\_{n}^{'}=X\_{n}^{''}$で囲まれた面積を$S\_{2}$とする。$S\_{1}=S\_{2}$とし、$X\_{n}^{''}$について解くと$X\_{n}^{''}$は式(3)より算出する。

$$ X\_{n}^{''}=\frac{x\_{n}+2}{3} (3)$$

文献(3)を参考に正曲げを受けた時の等価切り欠き幅$E'$を式(4)より算出する。

$$E^{'}=\frac{2n\left\{bt\_{f}\left(2D--2X\_{n}^{''}\right)+t\_{w}\left(-2t\_{f}\right)\left(D-\frac{}{2}-X\_{n}^{''}\right)\right\}-tB\left(2X\_{n}^{''}-t\right)}{4nt\_{f}\left(D-\frac{t\_{f}}{2}-X\_{n}^{''}\right)} (4)$$

4.2負曲げを受けた時の等価切り欠き幅$E"$の算出

正曲げを受けた時と同様の方法を用いて等価切り欠き幅$E''$を算出する。

　RBS部分の上フランジ上端から鉄骨梁重心までの距離$$を二次曲線とし、式(5)より算出する。

$$ =\frac{4\left(-\right)}{b'^{2}}x^{2}+ (5)$$

ここで、$$を切り欠き幅$c$のときの上フランジ上端から鉄骨梁重心までの距離とする。

　等価切り欠き幅$E''$の時の上フランジ上端から鉄骨梁重心までの距離$$を式(6)、負曲げを受けた時の等価切り欠き幅$E''$を式(7)より算出する。

$$ =\frac{+2}{3} (6)$$

$$ E^{''}=\frac{bt\_{f}\left(-2\right)+t\_{w}\left(-2t\_{f}\right)\left(\frac{}{2}-\right)}{2t\_{f}\left(-\frac{t\_{f}}{2}-\right)} (7)$$

4.3等価切り欠き幅$e$の算出

 RBS形状を直線状としたときの等価切り欠き幅$e$は、等価切り欠き幅$E',E''$の平均とし、式(8)より算出する。

$$ e=\frac{E'+E''}{2} (8)$$

4.4等価断面二次モーメント$I$の算出

　梁両端にRBSを設けた時の等価断面二次モーメント$I$は、RBSを設けた片持ち梁が正曲げと負曲げを受けた際の等価断面二次モーメント$I\_{+},I\_{-}$の平均とし算出する。RBS形状を直線状としエネルギー法より、等価断面二次モーメント$I\_{+},I\_{-}$を式(9)、等価断面二次モーメント$I$を式(10)より算出する。

$$\left(\begin{array}{c}I\_{+}=\frac{βl^{3}}{βl^{3}+\left.2\left(1-β\right)\left\{4\left(a'+b'\right)^{3}-4a^{'}^{3}+3b'l\left(l-4a'-2b'\right)\right\}\right.}\\I\_{-}=\frac{β'l^{3}}{β'l^{3}+\left.2\left(1-β'\right)\left\{4\left(a'+b'\right)^{3}-4a^{'}^{3}+3b'l\left(l-4a'-2b'\right)\right\}\right.}\end{array}\right. (9)$$

$$ I=\frac{I\_{+}+I\_{-}}{2} (10)$$

ここで、剛性低下率を$β,β'\left(β=\frac{}{},β^{'}=\frac{}{}\right)$とする。

５．有限要素解析による算出式の整合性の確認

　有限要素解析ソフトMarc Mentat2018を用いて式(10)の整合性の確認を行う。

5.1試験体概要

case1~case5の5つのRBSを設けた合成梁を解析対照とする。case1~case4がRBS形状の違いによる影響、case5が床スラブの影響が大きい場合を考慮する。表1に部材諸元、表2にRBS形状を示す。

図4にcase1の有限要素解析モデルを示す。解析モデルは全て等しく、弾性解析とする。

表1　合成梁の部材諸元

表2　RBS形状(単位：mm)



荷重$P$

：RBS

図4　逆対照曲げの有限要素解析モデル

5.2等価断面二次モーメント$I$の算出式の整合性

理論値と有限要素解析結果による移動固定端の変位を比較する。式(11)より理論値の変位$v$を算出する。

$$ v=\frac{Pl^{3}}{3EI}+\frac{Pl}{GA\_{w}} (11)$$

ここで、$G$をせん断弾性係数、$A\_{w}$をウェブ面積とする。

表3に変位の比較結果を示す。全てのケースで変位の誤差が微小であり、式(11)より等価断面二次モーメント$I$を算出可能であると考えられる。

表3　変位比較



６．RBSを設けた新宿校舎の等価剛性と固有周期

　新宿校舎の2階から28階までの全ての境界梁にRBSを設け、等価剛性と固有周期の変化を確認する。

RBSを設けたことによる等価剛性の低減率は最大で7.2%、最小で6.3%であった。

　表4にRBSを設けたことによる固有周期の変化を示す。RBSを設けたことによる固有周期の変動は概ね0.25%から0.4%で、基本的には変動しない。

表4　固有周期



６．まとめ

RBS全区間で中立軸が床スラブ外にあり、下フランジにRBSを設けた合成梁の等価断面二次モーメントの算出方法を提案した。有限要素解析モデルを用い、等価断面二次モーメント$I$の算出式の適合性の確認を行った。その結果、等価断面二次モーメント$I$の算出式の適合性の確認ができた。新宿校舎の2階から28階の境界梁にRBSを設け、等価剛性と固有周期の変化を確認した。

参考文献

1)　Interim Guidelines: Evaluation,Repair,Modification and Design of Welded Steel Moment Frame Structures, SAC Joint Venture,FEMA267,1995.8

2) Interim Guidelines Advisory No.1,Supplement to FEMA267,FEMA-267A,SAC Joint Venture,1997.3

3) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説,2010