

試作したホッケースティックモデルの打撃性能について

Hitting Performance on a Developed Hockey Stick Model

一重 洋太^{*1}, 香川 博之^{*2}, 米山 猛^{*2}, 溝口 正人^{*3}, 飛田 尚彦^{*4}

Hitting Performance on a Developed Hockey Stick Model

Yota ICHIJYU ^{*1}, Hiroyuki KAGAWA, Takeshi YONEYAMA,
Masato MIZOGUCHI and Naohiko TOBITA

^{*1} Kanazawa Univ. Grad. School of Natural Science & Technology
Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa, 920-1192 Japan

The top players of field hockey experientially know that high restitution area of their hokey stick exists not on the head but on the position slightly shifted to grip end. They would have to swing the stick horizontally with low posture to hit the ball near the area when strong and high speed balls were needed in the game. Therefore, we have been developing a new hockey stick that has high restitution area on the head.

The mass distributions of sticks affect the positions of the 1st modal node of vibration and center of percussion has been found. The area on the high coefficient of restitution may be related to the positions of the 1st modal node of vibration and center of percussion. In this study some experiment using sticks with the various positions of the modal node and the center of percussion controlled by the mass distributions has been carried out. Furthermore a hockey ball model was newly proposed for FEM analysis. The results of the FEM simulation closed on the results of our previous experiment.

Key Words : Field Hockey, Hockey Stick, FEM Analysis, Coefficientnt of Restitution, Modal node of vibration, Center of percussion

1. 緒 言

トップレベルの選手は、ホッケースティックの最も反発の大きい部分がヘッド部分にはなく、より手元側のシャフト上に存在することを経験的に知っており、強くボールを打撃する際には極端に低く屈んだ姿勢(横打ち姿勢)を取っている⁽¹⁾。このような打撃姿勢は体に負担がかかるうえに、速い展開を必要とするフィールドホッケーの試合においてプレーの動作の阻害要因となる。これを改善するために、著者らは従来のスティックよりもヘッド側に高反発領域をもつ新しいホッケースティックの開発を行ってきた⁽²⁾。これまでの研究では、スティックの質量分布を変えることによって、一次固有振動の節および打撃中心(撃心)の位置を従来のスティックよりも先端側に移動させることで、高反発領域を先端側に移動させている。さらに、従来の形状および新しい形状をもつ木製スティックを作成し、打撃性能について実験的にしらべることでその有効性を確認している⁽³⁾。なお、固有振動の節の位置だけでも反発特性は改善されと考えられるが、撃心近傍以外で打撃を行うと打撃具を支持する手に大きな衝撃力が作用するため、撃心の位置も重要になってくる。打撃性能に対する振動の節や撃心の位置の影響については、まだよくわかっていない部分もあり打撃具における興味深い課題の一つになっている。

本研究では、まず、一次固有振動の節および撃心の位置が反発係数に及ぼす影響について実験的に把握するため、市販スティックにおもりを貼り付けて打撃試験を行った。おもりの貼り付け位置(質量バランス)を変える

^{*1} 学生員, 金沢大学大学院 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

^{*2} 正員, 金沢大学 理工研究域

^{*3} 正員, 富山県工業技術センター

^{*4} TobTop (株)

E-mail: itiju@stu.kanazawa-u.ac.jp

ことでスティックの一次固有振動の節および打撃中心の位置を移動させている。次に、今後のスティック開発や打撃性能評価を効率的に行うために有限要素法により打撃シミュレーションを行った。

2. スティックの質量バランスと反発係数

2・1 実験方法

実験には、前報^③と同様に野球バットの打撃性能評価装置を用いた。スティックは、グリップエンドから152.4[mm] (6[in])の位置を回転自由支持^④した。実験には、国際ホッケー連盟 (FIH) が承認した直径72[mm]、質量155~156[g]の公式球2球を使用した。ボールの初速度を約18[m/s]とし、スティックの打撃位置をヘッドから25.4[mm] (1[in])間隔に設定し、2回ずつ打撃試験を行った。高速度カメラによる撮影を行い、2度打ちなど不適切な打撃が生じた場合には、データを除外し再度実験をやりなおした。

図1に示すように慣性モーメント I のスティックに対して、質量 m のボールを初速度 V_0 で支持点から距離 R の位置に衝突させた後、スティックが角速度 ω で回転するとき、スティックとボールの反発係数 COR は、次式で表すことができる。本研究では、次式により反発係数を算出した。

$$COR = \frac{\left(\frac{I}{mR^2} + 1\right)R\omega}{V_0} - 1 \quad (1)$$

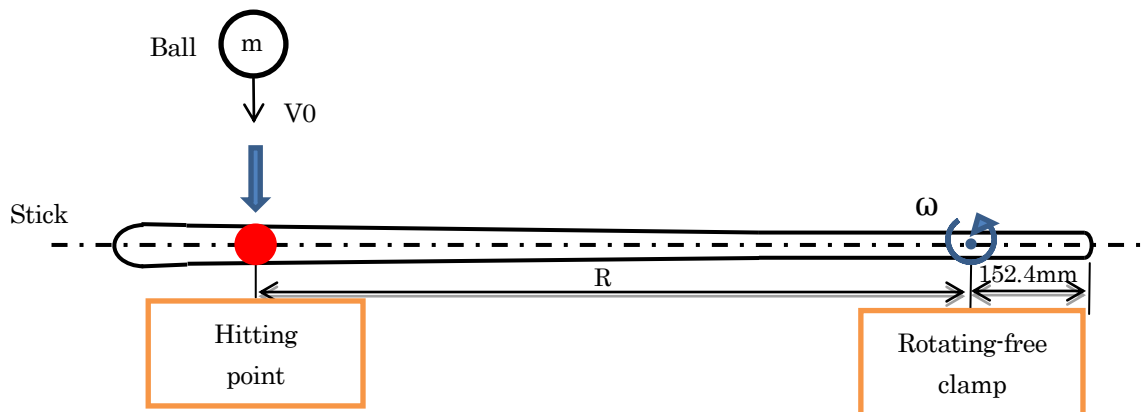


Fig.1 Schematic diagram to hit a ball by a hockey stick

2・2 スティックの質量バランス

市販のスティックにおもりを貼り付けて質量バランスを変化させる。おもりの位置により一次固有振動の節の位置が変化する。また、スティックの重心および慣性モーメントが変化するため、撃心の位置も変化する。したがって、同一のスティックを使って振動の節や撃心の位置を変化させた実験が可能になる。本研究では、ゴルフクラブ用の鉛製バランスチップ100.8[g] (図2)をおもりとして使い、スティックにビニールテープで貼り付けて固定した。

本研究では、①おもりをつけなかった場合、②グリップエンド部 (回転中心から-152.4[mm])におもりをつけた場合、③グリップエンドから304.8[mm] (12[in]) (回転中心から+152.4[mm])におもりをつけた場合、④ヘッド部 (スティック先端)におもりをつけた場合の4通り (図3)について実験を行った。また、おもりのつけ方によって、それぞれ「Normal」、「+GRIP」、「+12in」、「+HEAD」と呼ぶことにする。

実験には、長さ923[mm]、質量567[g]、回転自由支持点まわりの慣性モーメント0.145[kg・m²]のCFRP製市販ホッケースティックを使用した。おもりをつけた場合と合わせて、慣性モーメント (MOI)、撃心 (COP) および一次固有振動の節をグリップエンドからの距離で表すと表1のようになった。なお、慣性モーメントおよび撃心の位置は振り子運動の周期から、振動の節についてはインパクトハンマー法により実験的に求めたものである。

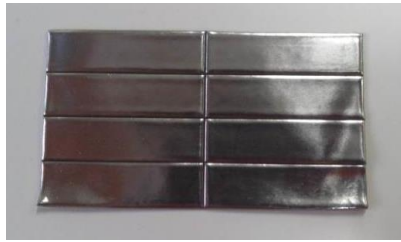


Fig. 2 Balance tip for weights

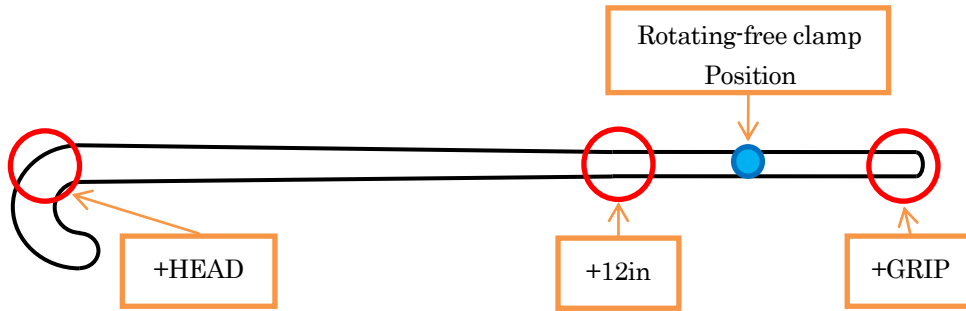


Fig. 3 Position of each weight

Table 1 Position of MOI, COP and 1st Node

Case	MOI[kg·m ²]	COP[m]	1 st Node[m]
① Normal	0.145	0.734	0.769
② +GRIP	0.147	0.771	0.740
③ +12in	0.147	0.712	0.770
④ +HEAD	0.201	0.774	0.779

2・3 実験結果

実験により得られた反発係数の分布を図4～6に示す。縦軸は、同じ位置で2回測定した反発係数の平均値を、横軸はグリップエンドからの距離で打撃位置を示したものである。また各図には、撃心の位置を実線で、一次固有振動の節の位置を破線で示した。

図4は、Normal と+GRIP の結果を比較したものである。Normal に対して+GRIP は、撃心と振動の節の位置を入れ替えたものにほぼ等しくなっている。どちらの場合も 800[mm]より先端側で打撃した場合にはほとんど差がないが、それよりも手元側で打撃した場合にはおもりをつけた+GRIP の反発係数が大きくなった。この理由については現在検討中である。

図5は、Normal と+12in の結果を比較したものである。Normal に対して+12in は、振動の節の位置はほぼ同じだが、撃心の位置が手元側に移動している。反発係数の分布は+GRIP の場合とほぼ同じ結果になった。+GRIP と+12in は、撃心や振動の節の位置は異なるが慣性モーメントが同じであるという特徴がある。この結果の説明についても現在検討中である。

図6は、Normal と+HEAD の結果を比較したものである。Normal に対して+Head は、撃心と振動の節の位置をどちらも先端側に移動させたものである。また、慣性モーメントが最も大きくなる。反発係数の分布はNormal よりも全体的に大きくなり、特に先端側の分布が他の場合とは異なり大きくなった。このように、同じスティックでも質量バランスを変えるだけで反発係数分布が変化することは本実験により確認することができたと思われる。

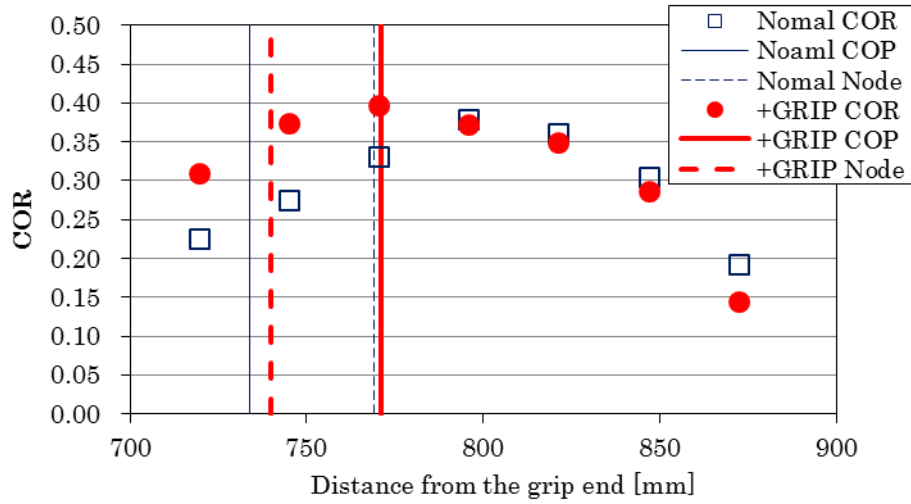


Fig. 4 COR in case of +GRIP

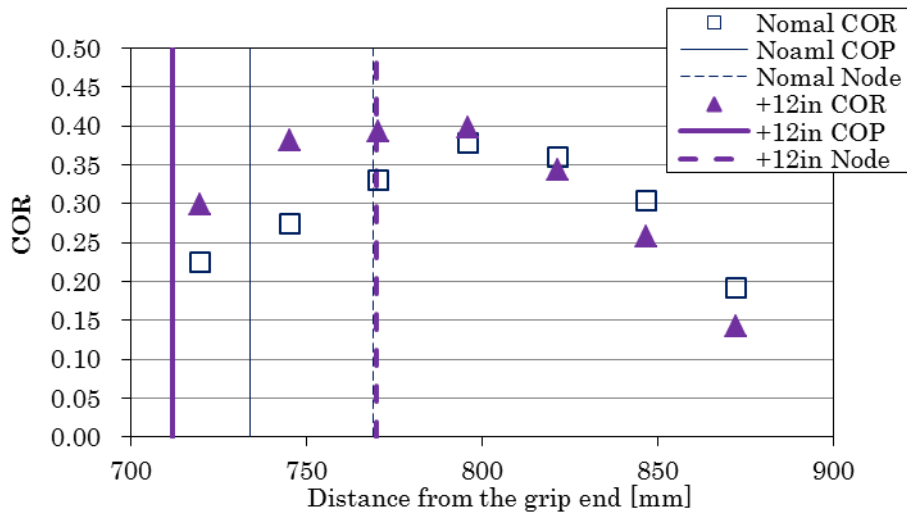


Fig. 5 COR in case of +12in

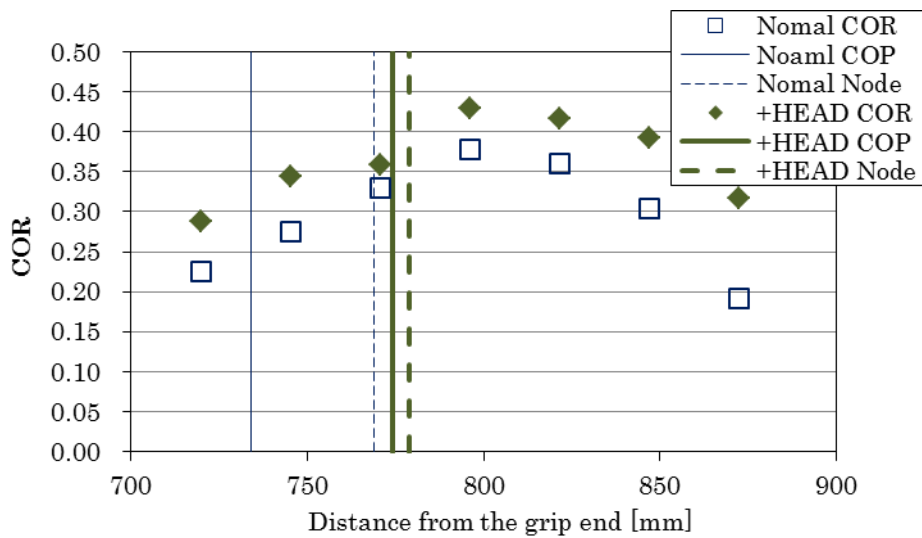


Fig. 6 COR in case of +HEAD

3. 有限要素法による打撃シミュレーション

3・1 モデル作成と解析方法

本研究では、前報⁽³⁾の木製スティックによる打撃を有限要素法によりシミュレートし、実験結果と比較することで解析の妥当性について検討を行った。なお、本研究のFEM解析には、Altair HyperWorks 11.0を使用した。

まず、ホッケーボールのモデル化を行った。実際のボールは4層構造をとるなど複雑であり、ボール自体の変形特性などを詳細に解析する場合、例えば投球装置の開発などで使用するためのモデル化は非常に難しい問題である。しかし、本研究ではスティックが対象であり、ボールとしては外径、質量、反発係数などが同じとみなせる飛翔体であればよいと考えられる。そこで、金属製野球バット開発のために使用した硬式野球ボールモデル⁽⁶⁾と同様に単純化し、弾塑性体コアを弾性体スキン層で覆う2層構造とした。コアおよびスキン層の外径は図7に示すようにそれぞれ50[mm]および72[mm]とし、材料定数を表2のように設定した。四面体要素を用いて要素分割を行ったところ、節点数598、要素数2599となった。このボールモデルを使用して、投球速度を変えて剛体壁に衝突させたときのボールの反発係数を求めたところ図8が得られ、本解析の範囲ではボールモデルは実際のホッケーボールとほぼ同様の反発特性をもつことがわかる。

次に、ホッケースティックのモデル化を行った。前報⁽³⁾で実験を行った木製スティックの形状を図9および図10に示す。図9は市販品形状を模して作ったスティックで、図10は選手動作を考慮し、一次固有振動の節および撃心の位置を従来よりも先端側に移動させた著者らの考案している新しいスティックである。実験では同じ木材（メープル材）から切り出して作成したため、解析ではどちらのスティックもヤング率12.6[GPa]、ポアソン比0.3、密度650[kg/m³]一定の弾性体とした。四面体要素を用いて要素分割を行ったところ、従来型は節点数5351、要素数20695、改良型は節点数5045、要素数19780となった。なお、実験およびFEM解析で使用するスティックの慣性モーメント（MOI）、撃心（COP）および一次固有振動の節をグリップエンドからの距離で表すと表3のようになった。

解析は、実験と同様にグリップエンドから152[mm]の位置を回転自由支持し、ボール初速度を12.9[m/s]として行った。本解析は衝突解析を取り扱うため、陽解法により繰り返し計算を行うことになり、そのステップ時間を0.2[ms]とした。

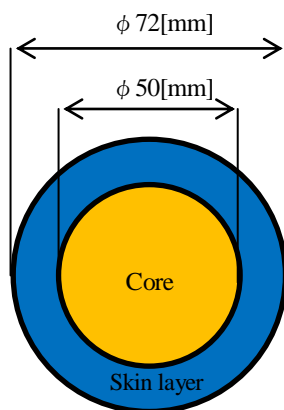


Fig. 7 Structure of the hockey ball model

Table 2 Material property of the hockey ball model

Part	Material type	Young's modulus [MPa]	Poisson's ratio	Yield stress [MPa]	Density [kg/m ³]
Skin layer	Elastic	150	0.40	-	765
Core	Elasto-plastic	300	0.40	2.00	765

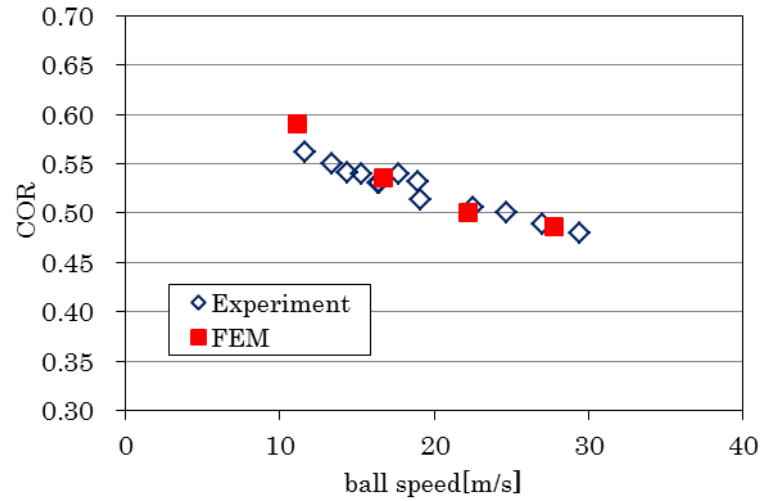


Fig. 8 COR of a hokey ball and the ball model

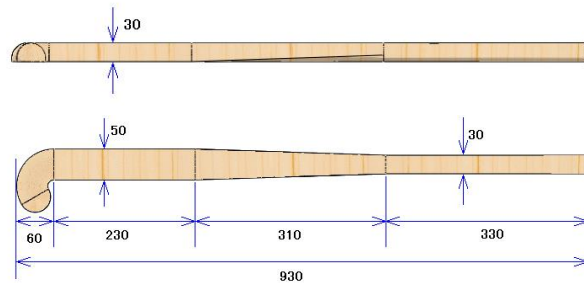


Fig.9 Conventional stick model

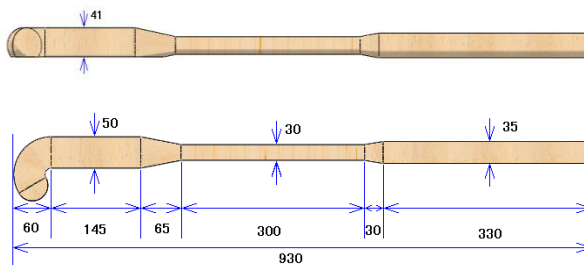


Fig.10 Developed stick model

Table 3 Property of the hockey stick models

	Stick model	Mass[kg]	Length[m]	MOI[kg·m ²]	COP[m]	1 st Node[m]
Experiment	Conventional	0.619	0.930	0.137	0.724	0.748
	Developed	0.586	0.930	0.158	0.787	0.788
FEM	Conventional	0.608	0.930	0.139	0.730	0.760
	Developed	0.600	0.930	0.160	0.783	0.790

3・2 解析結果

従来型および改良型スティックによる FEM 打撃シミュレーション結果を、前報⁽³⁾の実験結果と合わせて、それぞれ図 11 および図 12 に示す。また各図には、撃心の位置を実線で、一次固有振動の節の位置を破線で示した。

図よりスティックによらず、どちらの場合もシミュレーション結果が実験結果とほぼ一致していることがわかる。これより、本シミュレーション方法はほぼ妥当であるものと考えている。また、本シミュレーションでも、改良型スティックすなわち一次固有振動の節および撃心の位置を先端側に移動したものは、反発係数の大きな領域が従来型よりも先端側に移動していることを示している。この高反発領域が先端側に移動するメカニズムについては、今後さらに詳細に解析を進め明らかにしたいと考えている。

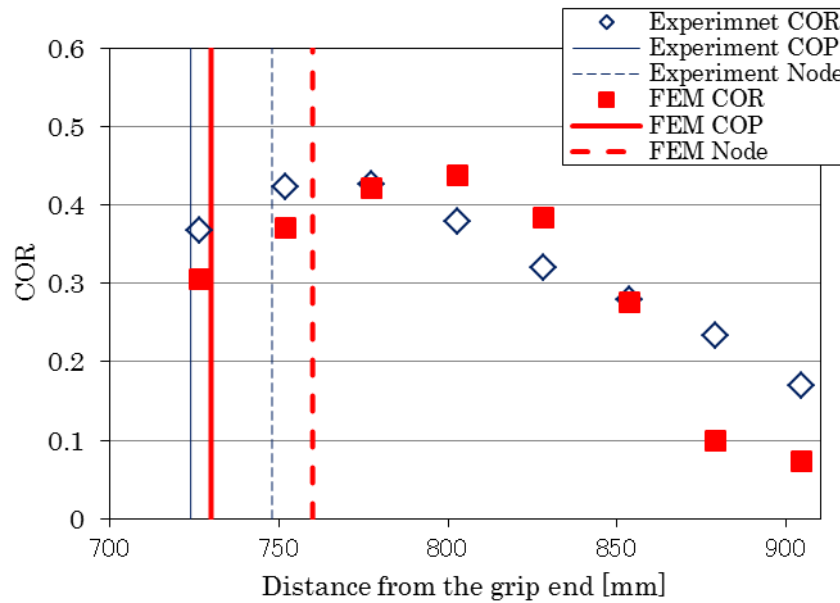


Fig. 11 Result of FEM analysis on the conventional model

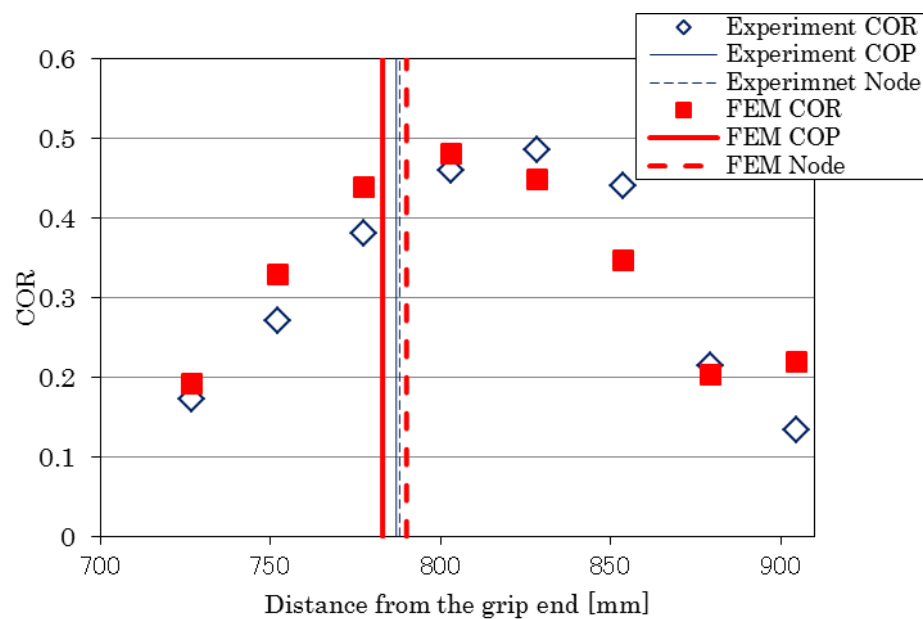


Fig. 12 Result of FEM analysis on the developed model

4. まとめ

本研究では、同じスティックでもおもりを貼り付けて質量バランスを変えることで、スティックの一次固有振動の節および撃心の位置が移動する性質を利用して、それらの位置と反発係数の関係について実験的にしらべた。質量バランスの変化により、反発係数分布が変化することがわかったが、その詳細なメカニズムについては今後さらに詳細な検討が必要である。

また、弾塑性体コアを弾性体スキン層で覆う2層構造をもつボールモデルを作成し、有限要素法により打撃シミュレーションを行った。本研究の範囲では、シミュレーション結果と実験結果はほぼ一致し、モデル化の妥当性を確認できた。今後さらに解析を進め、高反発領域の移動するメカニズムの解明やより使いやすいホッケースティックの開発につなげたいと考えている。

文 献

- (1) 飛田尚彦, 溝口正人, 田賀富之, 香川博之, 米山猛, “ホッケースティックの打撃特性に関する研究”, 日本機械学会シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, No. 10-53 (2010), pp. 142-146.
- (2) 故田隆樹, 香川博之, 米山猛, 溝口正人, 田賀富之, “選手の動作を考慮した新しいホッケースティックの開発”, 日本機械学会シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, No. 11-17 (2011), pp. 175-178.
- (3) 故田隆樹, 香川博之, 米山猛, 溝口正人, “ホッケースティックの開発と打撃性能評価”, 日本機械学会シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, No. 12-39 (2012), pp. 515-518.
- (4) 香川博之, 米山猛, 那須英彰, 五十嵐重人, 北川雄二郎, 高橋昌也, 佐藤一孝, “野球バットの打撃性能評価システムの製作とバット支持方法の選択”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 77, No. 783 (2011), pp.4218-4227.
- (5) 仁村亮介, 香川博之, 米山猛, 高橋昌也, “金属製野球バット打撃性能試験における支持方法の影響に関する数値解析”, 日本機械学会 2011 年度年次大会 DVD-ROM 論文集, No. 11-1(2011), J231014.