論文

様々な自動車乗員の前突事故における腹部傷害の分析について

井田　等，浅岡道久，青木雅司 [*1]，一杉正仁 [*2]

Analysis of Abdominal Injuries of Various Occupants in Frontal Collisions

Hitoshi Ida, Michihisa Asaoka, Masashi Aoki[*1], Masahito Hitosugi[*2]

要旨

交通外傷治療において腹部傷害は発見が難しく，処置の遅れで重篤になる場合がある．

近年，体型の肥満化が進んでいるが，肥満体型乗員の腹部傷害について拘束装置がどのような効果を及ぼすか十分にわかっていない．よって交通外傷データベースによる傷害傾向の分析と，人体モデルTHUMSのスケーリングモデルによるシミュレーションにより乗員の体型が腹部傷害に及ぼす影響を明らかにした．その結果，衝突時の腰移動を抑制する拘束装置が腹部傷害を低減することを確認した．

Abstract

Abdominal injuries are difficult to detect when treating traffic injuries and can become severe if treatment is delayed. In recent years body shapes has become more obese, but it is not fully understood what kind of effect restraint devices have on abdominal injuries of occupants with an obese body type. Therefore, the effect of occupants' body shape on abdominal injuries was clarified by analyzing injury tendencies using the traffic trauma database and conducting simulations with a scaling model of the THUMS human body model. The results confirmed that restraint devices that suppress the movement of the waist during collisions reduce abdominal injuries.

1. はじめに

近年，交通外傷の研究として腹部傷害やサブマリン現象が注目されており，交通外傷研究の場で腹部のベルト傷害に関する市場事故の研究報告がいくつかなされている [1)]．

しかし現在，前突用のHybrid Ⅲダミーでは腹部荷重の測定ができないため，シートベルト，エアバッグ等の拘束装置が腹部傷害にどのような効果を及ぼすかは十分に分かっておらず，頭部や胸部，下肢傷害に対する腹部傷害の社会的な位置付けも明確になっていない．

また年々肥満化が進んでいるが，肥満体型が腹部傷害に及ぼす影響も十分に研究が進んでいない．

よって本研究では，北米自動車事故データベースを用いて腹部傷害低減の現状と課題を明確にするとともに，腹部傷害の受傷要因，受傷臓器の分布を，助手席乗員の前突事故を対象に分析した．

さらに，肥満体型が腹部傷害の分布に及ぼす影響について事故調査と人体モデルを用いたCAE解析により分析を行ったので報告する．

2. 対象および方法

NHTSAの統計管理センターNCSAが公開している北米自動車事故データベース（NASS/CDS）を用いた．すなわち1995年～2011年の16年間における前突事故における普通乗用車及び商用車の助手席乗員5280人を対象に傷害の分析を行った．（なお，NASS/CDSのデータセットは毎年全米で約一万人の交通事故死傷者を扱っており，これは全米の事故死傷者320万人（99年度）[2)] の約0.3%に相当する）．

また，本報告での前突とは11時～1時の衝突方向，車両前面の損傷事例を指し，一般成人の傾向を評価するため身長140cm以上の乗員を対象に傷害傾向の分析を行った．

*1　性能実験部
*2　滋賀医科大学社会医学講座法医学部門

３．助手席乗員の前突腹部傷害の分析

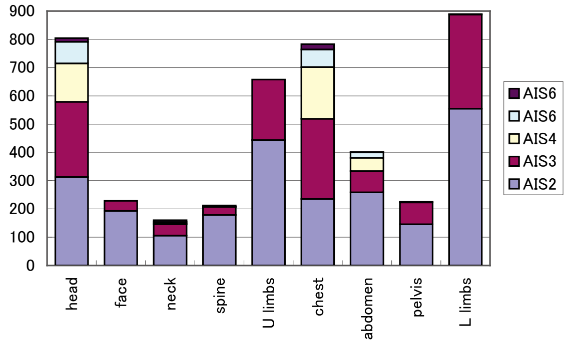
３－１．助手席乗員の前突時傷害部位と重傷度

前突時，腹部傷害が外傷全体に占めるウェイトを明確にするため，上記5280人に生じた外傷を，傷害発生部位と重症度（AIS）の両面から分析した．なお，AIS1（軽症）には軽度の擦過傷も全て含まれるため，より精度の高い解析を実施するべくAIS2（中等症）以上の傷害4365件について分析を行った．

まず，部位別，重症度別の腹部傷害の発生頻度を示す（**図－1**）．下肢（889件）頭部（804件）胸部（783件）上肢（658件）よりも腹部（401件）は少なくなるが，AIS4（重篤な傷害）以上の傷害は頭部，胸部，腹部の3箇所にしか発生していないことが分かった．

また，これらの傷害のうち，直接死因となった傷害部位は，胸部（132件）頭部（98件）腹部（28件）に対し，下肢（2件）上肢（0件）であった．

以上より，助手席前突において腹部は傷害発生数では上位に位置しないものの，乗員救命の観点では決して軽視できないことがわかる．



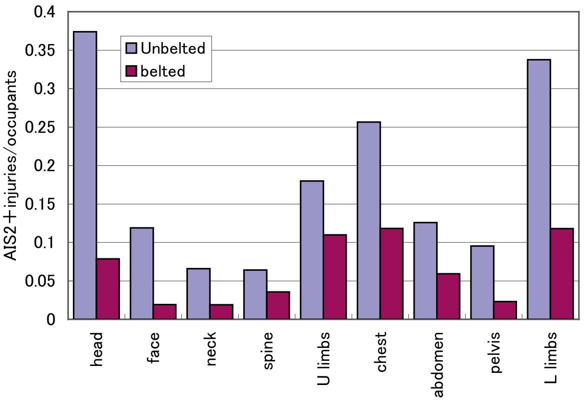
図－1　Distribution of injuries by AIS

３－２．腹部傷害と乗員拘束装置の効果

次に乗員拘束装置の効果を明確にするため，シートベルト有無による助手席前突傷害の変動について分析した．

なお前述の5280人中，ベルト非着用乗員1185人，着用乗員3596人（拘束不明499人）であり，母数が異なるためAIS2以上の各傷害発生数を対象乗員数で割り，一人当たりの各部位の傷害発生率で分析を行った．

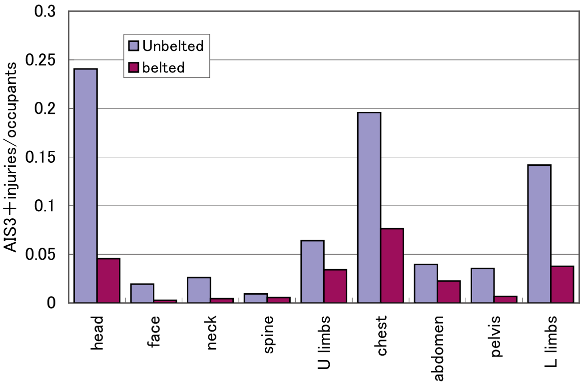
その結果，ベルト着用乗員では全ての傷害について非着用乗員にくらべ傷害発生率の低減効果が見られ，特に頭部で79%減，顔面で84%減，頚部で71%減，骨盤で76%減，下肢で65%減と，頭頚部と下半身に大きな効果が見られた(**図－2**)．一方，腹部はベルト拘束による傷害低減率が53%であり，頭頚部や下半身ほど顕著な効果は現れない．



図－2　Incidence of AIS2+ Injuries by seatbelt

AIS3（重症）以上の発生数ではさらに顕著にこの傾向が現れ，頭部で81%減，顔面で86%減，頚部で83%減，骨盤で81%減，下肢で73%減のシートベルトによる傷害低減効果があるのに対し腹部は43%の低減にとどまった（**図－3**）．

これらの結果は，助手席前突事故においてシートベルト，前突エアバッグ使用による腹部傷害の低減が，他の部位よりも難しいことを示唆している．



図－3　Incidence of AIS3+ Injuries by seatbelt

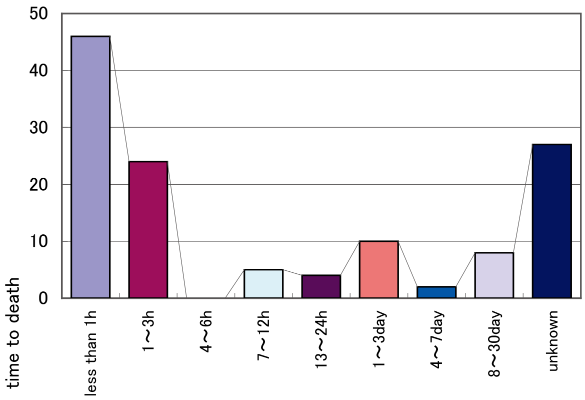
前突助手席乗員の各傷害の死亡事例を，事故後死亡に至るまでの時間で分析すると，頭部では一時間以内の死亡が37%，胸部では40%を占めており，多くは短時間で死亡していた（**図－4，図－5**）．

一方，腹部傷害では一時間以内が24%，4～6時間以内が19%と，事故後数時間後に死亡している例が多い（**図－6**）．

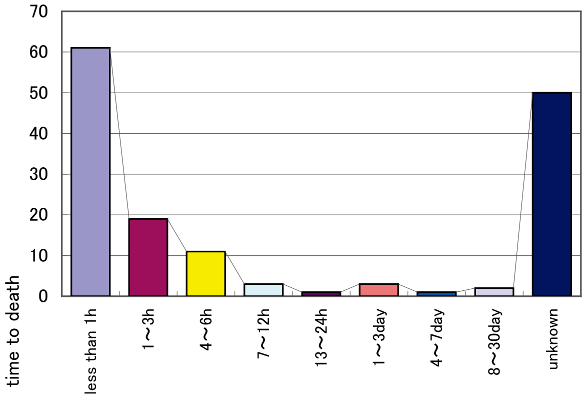
また死因となった傷害の平均AISを比較すると，頭部が4.3，胸部が4.4であるのに対し，腹部は3.8と重症度が低い傾向にある．

以上より，腹部傷害は頭部や胸部と比較すると早期に適切な治療を行うことで救命の可能性が高まると推測される．

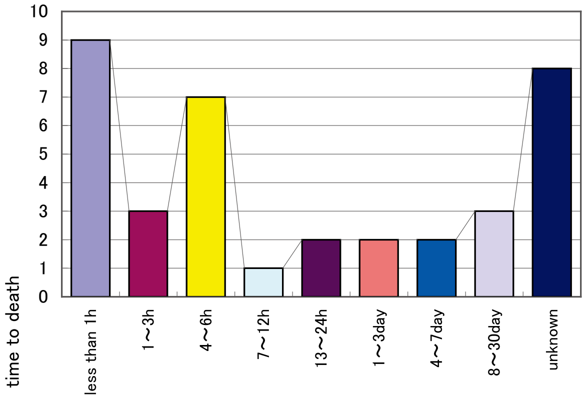
よって腹部傷害の要因と傾向，発生部位を明確にすることは，前突事故の死亡者を低減する上で重要であると考える．



図－４　Distribution of survival time
(The cause of death was head injuries)



図－５　Distribution of survival time
(The cause of death was chest injuries)



図－６　Distribution of survival time
(The cause of death was abdominal injuries)

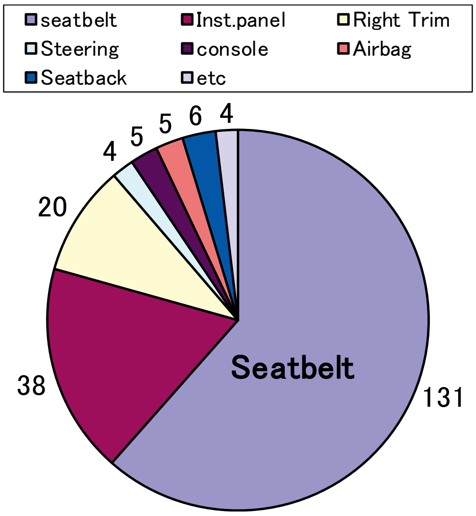
３－３．ベルト装着乗員の腹部傷害の受傷要因

3−1項で報告したベルト拘束乗員の腹部傷害213例について，その成傷器を調査した結果，シートベルトによる圧迫が6割以上を占めていた（**図－７**）．

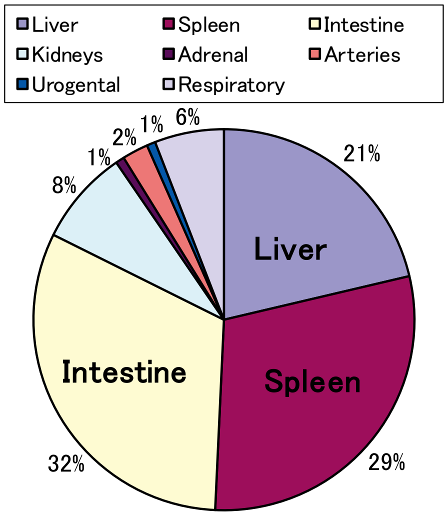
ベルト以外の成傷器としてはドアトリムやコンソールなど，斜め前方や横に投げ出されたと思われる事例が含まれているが，本研究では前面衝突の傷害を分析するため，6割以上を占めるベルト傷害に絞ってその傾向を分析した．

この腹部ベルト傷害131例を損傷臓器別に分類すると，肝臓29例（21%），脾臓40例（29%），腸（小腸，大腸，腸間膜等）43例（31%）であり，肝臓，脾臓，腸の3臓器で腹部ベルト傷害の82%を占める（**図－８**）．

また，腹部ベルト傷害には腎臓が8%，横隔膜が6%含まれているが，腎臓は後腹膜臓器であること，横隔膜は胸部圧迫でも受傷しうるため，以上の検討対象からは除外し典型的なベルト腹部傷害として肝臓，脾臓，腸の3臓器112例の発生傾向を分析することとした．



図－７　The source of abdomen AIS2+ Injuries (Belt used)



図－８　Distribution of abdomen AIS2+ Injury with seatbelt

３－４．体型と腹部ベルト傷害

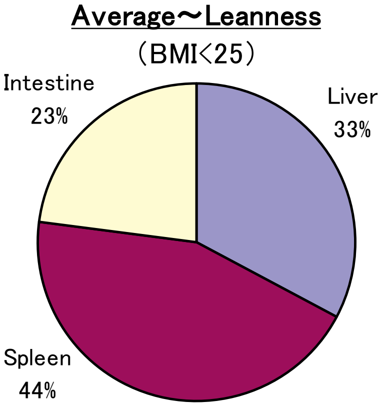
腹部傷害と肥満体型の関係を分析するため，3−3項の腹部ベルト傷害112件（体重不明の1件除く）について，肥満度の指標であるBody Mass Index（以後BMIと呼称）により分析を実施した．

BMIは体重を身長の二乗で割ったもので，日本では25以上を肥満と定義しているため[5]，上記111件についてBMI25未満60件，BMI25以上51件に分けて，腹部臓器の傷害傾向を調べた（**表－1**）．

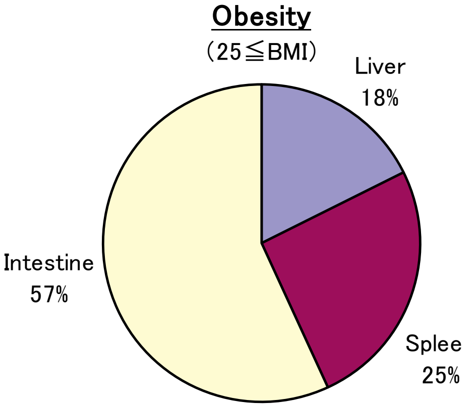
表－1　Abdomen AIS2+ Injury with seatbelt

	BMI<25	25≦BMI
Liver	20	9
Spleen	26	13
Intestine	14	29
Total	60	51
Ave,height（cm）	164.5	162
Ave,weight（kg）	57.6	80.2
Ave.EBV（km/h）	45.1	51.5
Ave.BMI	21.3	30.6

その結果，標準～痩せ型であるBMI25未満の乗員の傷害分布では，肝臓33%，脾臓44%，腸23%，（**図－9**），肥満体型であるBMI25以上の乗員については，肝臓18%，脾臓25%，消化管57%となり（**図－10**），肥満体型では腸の受傷率が増大することが分かった．

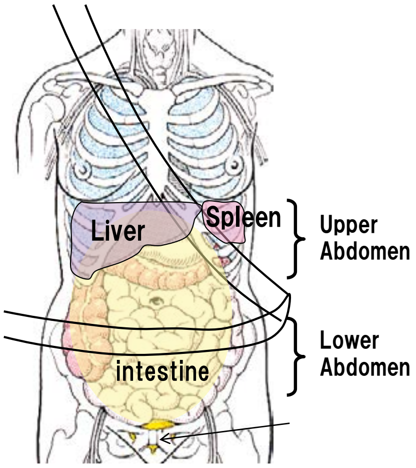


図－9　Abdomen AIS2+ Injury with seatbelt（BMI < 25）



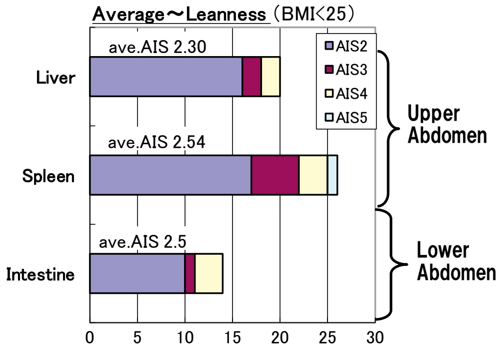
図－10　Abdomen AIS2+ Injury with seatbelt（25 ≦ BMI）

これを臓器の位置で見ると，肝臓と脾臓は上腹部に位置するが，消化管は主に下腹部に位置することがわかる（**図－11**）．

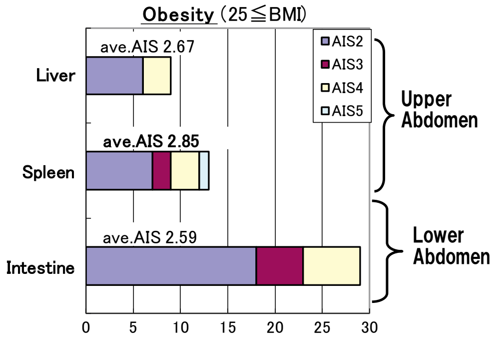


図－11　Abdominal Organs[3]

よって本データを上腹部と下腹部に分けて分析すると，標準～痩せ型では上腹部が46件（77%），下腹部が23件（23%）と上腹部に偏るのに対し（**図－12**），肥満体型では上腹部が21件（43%），下腹部が29件（57%）と下腹部で増大しており（**図－13**），肥満化による下腹部の突出が有意に腹部傷害分布に影響を与えることが分かった（X2-test，P<0.0003）．



図－12　Abdomen AIS2+ Injury at Liver, Spleen, Intestine by seatbelt（BMI < 25）



図－13　Abdomen AIS2+ Injury at Liver, Spleen, Intestine by seatbelt（25 ≦ BMI）

突き出した腹部にシートベルトがかかっているとシートベルトが腹部に食い込みやすくなると推測されることから，肥満体でも腹部下の腸骨に確実にシートベルトをかけることが望ましいと考えられる．

また，肥満体型の上腹部は傷害件数こそ減少しているものの，平均 AIS ではむしろ悪化しており，特に脾臓では平均 AIS が 2.85 に達する．

この結果から，肥満体形では標準～痩せ型の乗員とはシートベルトによる腹部への負荷の傾向が異なる可能性が推測される．

3－5. 人体モデルによる検証

肥満乗員の腹部傷害の傾向を検証するため，人体モデル THUMS をベースに，肥満体形の人体モデルを作成して CAE 解析による検証を行った．

ベースとなる AM50%の Thums は身長 175cm，体重 78kg（BMI25 相当）を想定してモデル化しているため，CIREN のレポート[4)]（1201miami）における 168cm，111kg の乗員の腹部 CT 断面の皮下脂肪の厚さを参考に Thums の体表をスケーリングし，事故調査での肥満と標準～痩せ型の BMI の平均値の差相当（**表－ 2**）になるように体重 105kg，BMI34 の肥満 Thums を作成した．

表－ 2　weight ratio and seatbelt contact force ratio

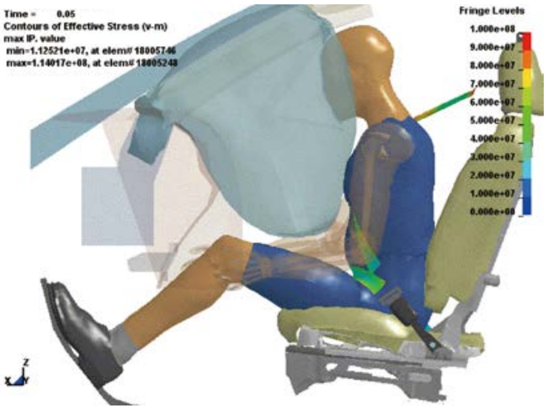
	BMI25 Thums	BMI34 Thums
weight (kg)	78kg	105kg
Weight ratio	1.00	1.35
Shoulder belt force ratio	1.00	1.19
Lap belt force ratio	1.00	1.42

速度は肥満体型の腹部傷害データの平均 EBS（バリア換算速度）が 50km/h を超えていることから 56km/h（35mph）に設定した前突助手席スレッド試験の再現を実施した．

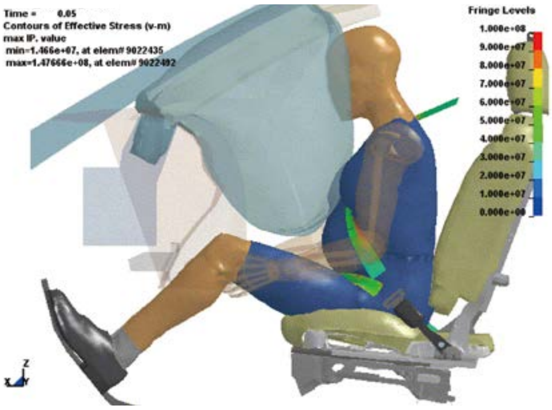
また，拘束装置は助手席前突エアバッグ展開，シートベルト装着条件で行い，正常使用時の傷害を評価するため，双方とも腸骨にかかる正規位置にベルトを設定して解析を実施した（**図－ 14, 図－ 15**）．

その結果，ベースの Thums と肥満 Thums の質量比は 1.35 倍であるのに対し，上腹部にかかる肩ベルトの接触力は 1.19 倍，下腹部にかかるラップベルトの接触力は 1.42 倍となり，ベルトにより生じる腹部への入力荷重は肥満体において下腹部により多く生じることが示唆された（**表－ 2**）．

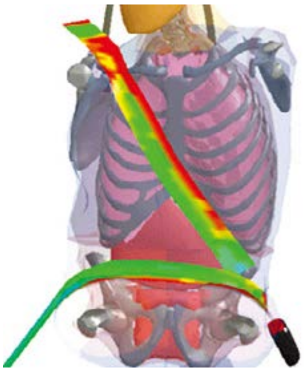
さらに肩ベルトは肥満体形では腹部突出の影響から体側にずれやすく（**図－ 16, 図－ 17**）ずれた肩ベルトが脾臓を圧迫した場合に脾臓の AIS が悪化する可能性があることが分かった．



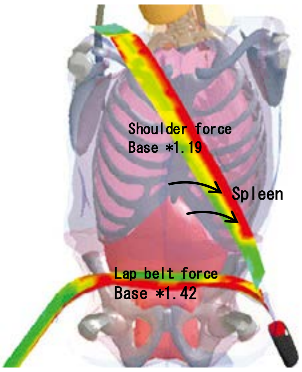
図－ 14　35mph .sled test（base model：BMI25）



図－ 15　35mph .sled test（fat model：BMI34）

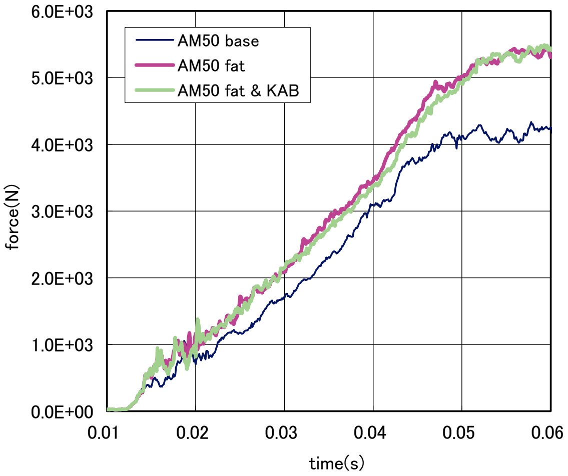


図－ 16　sled test seatbelt stress
（base model：BMI25）

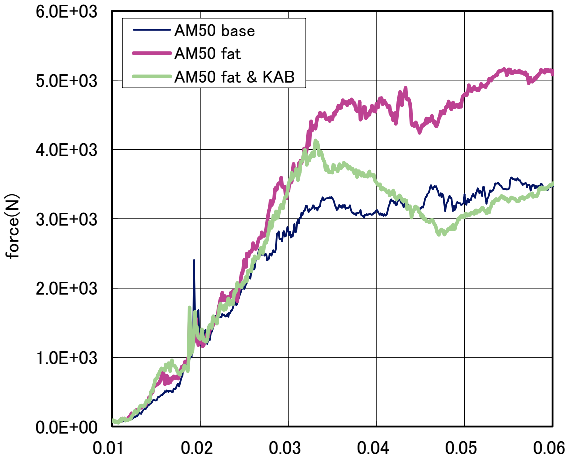


図－ 17　sled test seatbelt stress
（fat model：BMI34）

また，肥満体において有意に増大するラップベルトの接触荷重を低減するデバイスとしてニーエアバッグ（KAB）の効果を同モデルで検証した．その結果，肩ベルト荷重には大きな変化が見られなかったが，ニーエアバッグを装備することでラップベルトは肥満体形でも標準体型と同等まで荷重を低減することができることがわかった（**図－18，図－19**）．



図－18　Shoulder belt contact force



図－19　Lap belt contact forces

4．まとめ

NASS/CDS の助手席前突事故データの分析を行い，傷害部位と重症度，拘束装置の有無，損傷臓器分布をもとに医学・工学的知見を加えた．

(1) 腹部傷害は頭部，胸部に次いで重度傷害の多い部位である．
(2) 助手席拘束乗員の腹部傷害の6割以上はシートベルトで受けており，シートベルトによる腹部傷害を検討することは臨床医学上有用と思われる．
(3) シートベルトによる傷害臓器は肝臓，脾臓，消化管が 82% を占める．
(4) 腹部ベルト傷害は体型に大きく依存し，痩せ型の乗員では上腹部の傷害が，肥満乗員については下腹部の傷害が有意に増大する傾向がある．
(5) 人体モデル Thums の肥満モデル（BMI25 から 34 にアップ）を作成し，ベルト入力荷重を比較したところ，下腹部へのベルト入力荷重が肥満体では有意に増大していることが分かった．
(6) 肥満体の下腹部へのベルト入力荷重を低減する上でニーエアバッグが効果的であることが人体モデルの解析で示された．

参考文献

1）STAPP CAR CRASH JOURNAL，Vol.50，p.1-74，(2006)
2）NHTSA「Overview99」
3）越智順三訳「分冊 解剖学アトラスⅡ」株式会社文光堂 p3
4）CIREN「1201miami 」
5）日本肥満学会「肥満研究」Vol.11 No.1 2005

著　者

井田　等

浅岡道久

青木雅司

一杉正仁