

深谷赤十字病院新病棟

梓設計構造部
高坂隆一



同
増子友介



同
塚田幸一



1. はじめに

本建物は、JR高崎線深谷駅から南東約1.3kmの住宅地に位置する、地域災害医療センターとして機能する医療施設である。免震構造を採用した新病棟（計画建物）内に、高度な医療サービスを提供できる医療設備を集約し、大地震を被災した後でも、単独でも医療活動を継続、維持することが可能な施設を目指して設計を行った。

本報では、建物概要の紹介と、本計画で採用した積層ゴム支承の浮上りを許容した取付け法、および、実物による性能試験結果を報告する。

2. 建物概要

図-1に建物のパースを示す。1階、基準階平面を図-2および図-3に示す。階構成については、1階から2階に診療部門、ICU、CCU、救急病棟、供給部門、設備、電気室を、3階から7階に一般病棟を配置している。建物概要は以下の通りである。

- 1) 計画地 埼玉県深谷市上柴町5丁目8番地1
- 2) 敷地面積 24,728.78㎡
- 3) 建築面積 6,080.48㎡（新病棟）
- 4) 延床面積 24,546.92㎡（新病棟）
- 5) 構造/階数 7階塔屋1階、地階なし
鉄筋コンクリート構造免震構造
- 6) 高さ関係 軒高 28.34m
最後部高さ 28.80m
基準階高さ 3.65m
1階階高さ 4.40m



図-1 完成パース

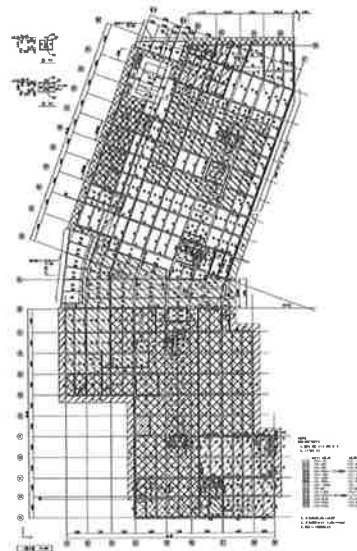


図-2 1階伏図

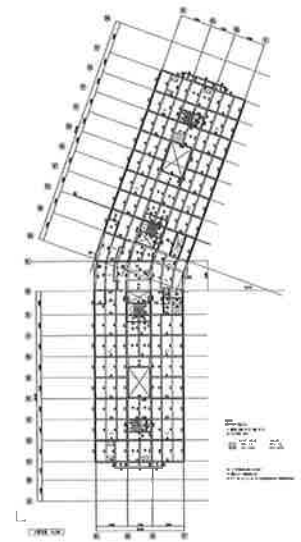


図-3 基準階伏図

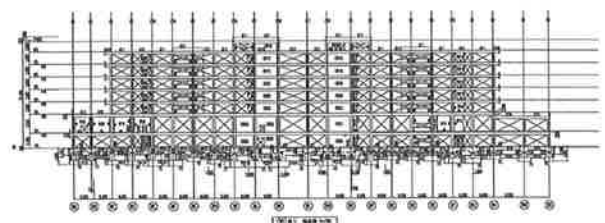
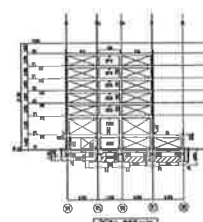


図-4 軸組図



3. 構造計画

3.1 計画方針

1931年に発生した西埼玉地震の震源にも近く、敷地の近傍¹⁾には、櫛引断層、神川断層、平井断層があり、少し距離を隔てて、綾瀬川断層が、敷地の直ぐ横には、深谷断層がはしっている。以上のように、敷地近くに活断層が数多く存在することから、敷地近傍の断層により強震動が発生した場合でも、地域災害医療センターとして機能できることを設計目標とした。

建物の形態は、既存医療施設の機能継続を前提とした施設整備による敷地の制約、周辺環境への配慮、機能の構成から、建物中央部が折れ曲がり、病院施設機能上、1階から2階の診療部門の平面が大きく、3階以上の病棟部の平面が小さくなっている。また、経済性を追求するために、上部架構は鉄筋コンクリート構造で計画を行った。

3.2 採用地震波形および耐震性能目標

設計に用いた地震波形の選定は、一般的に用いられている標準波形と、告示波形に加え、埼玉県都市防災との整合性を保つために、「埼玉県地震被害想定調査報告書」²⁾平成10年3月を参考にして、地震動のレベルを4段階に設定した設計を行った。

西埼玉地震、深谷断層に対しては、敷地が、深

谷断層のほぼ中央に位置することから、翠川・小林モデル³⁾を適用し、敷地直下の最深部から放射状の破壊を想定して求めた。

4. 設計方針

防災拠点の施設であることから、余裕度を越えるレベルの検討を中心に設計を進めた。4段階に設定した地震入力レベルに対して、余裕度レベルでは、特性変動を考慮しても、上部建物は弾性限以下、免震装置は性能保証限界程度 ($\gamma=300\%$)、参考検討用の深谷断層マグニチュードM=7.2で、上部構造体は弾性限を少し越えるレベル、免震装置は性能保証限界を少し越えるレベルになるように設計を行う方針とした。

階段室周辺にしか耐震壁が設けることができず、鉛直震度を考慮すると、耐震壁直下の積層ゴム支承に引張力が作用する可能性が高い架構形態である。上部架構の計画は、積層ゴム支承の浮上りを防止するために、純ラーメン構造で計画を行うか、耐震壁の剛性、耐力を期待した計画を行うか、実施設計段階でもなかなか結論が出せなかった。最終的には、純ラーメン構造で計画すると、ひび割れ後の剛性低下による周期の伸び、免震効果、架構の変形の増大に対して、好ましい選択でないと

表-1. 設計用地震動と最大速度

Vmax: 最大速度

レベル 1	レベル 2	余裕度	参考検討用
EL CENTRO 1940 NS Vmax=25cm/s	EL CENTRO 1940 NS Vmax=50cm/s	EL CENTRO 1940 NS Vmax=75cm/s	深谷断層 M=7.2 Vmax=98.3cm/s
TAFT 1952 EW Vmax=25cm/s	TAFT 1952 EW Vmax=50cm/s	TAFT 1952 EW Vmax=75cm/s	深谷断層 M=8.0 Vmax=80.8cm/s
HACHINOHE 1968 NS Vmax=25cm/s	HACHINOHE 1968 NS Vmax=50cm/s	HACHINOHE 1968 NS Vmax=75cm/s	
	告示波形-1 Vmax=42.6cm/s	深谷断層 M=6.5 Vmax=94.8cm/s	
	告示波形-2 Vmax=58.4cm/s		
	西埼玉地震 Vmax=50.0/s		

判断し、本計画では、階段周りの連層耐震壁を有効に使う方針を選択した。

次に、支承部に作用する引張力の対応の検討を進めた。方法としては以下が考えられた。

- 1) 引張に耐えられる免震装置を採用し、基礎に作用する引張力をアースアンカーで処理する。
- 2) 積層ゴム支承に引張力が作用しないように工夫し、支承部で浮上りを許容する設計を行う。

本敷地は、直接基礎で計画できる敷地条件で、引張力をアースアンカー等で処理する設計を行った場合、建築費が増大すると推察されたため、浮上りを許容する計画を進めることとした。

5. 免震システム

経済性を意識し、一般的に想定している余裕度レベルを越えた地震動に対して、構造安全性を確保し、地域災害医療センターとして、被災直後からの医療活動の継続維持を可能にするため、大変形時のエネルギー吸収性の高い弾性スベリ支承、天然ゴム系積層ゴム支承、サブダンパーとして免震U型ダンパーを組み合わせたシステムを採用した。

天然ゴム系積層ゴム支承は、せん断剛性 $G=0.35\text{N}/\text{mm}^2$ で、2次形状係数 $S_2=5$ の支承を使用した。2階建ての低層部は面圧が低いことから、2次形状係数 $S_2=4$ の支承を使用し、長周期化を計った。弾性スベリ支承は標準型（摩擦係数： $\mu=0.14$ ）と低摩擦型（ $\mu=0.017$ ）を組み合わせ、設計意図に合う、長周期化と減衰特性を実現した。

表-2 ダンパーの降伏せん断力係数 α_s

	弾性スベリ支承	鋼棒ダンパー	合計
標準状態	3.3%	1.2%	4.5%
特性変動 (+)	4.3%	1.2%	5.5%
特性変動 (-)	2.3%	1.2%	3.5%

但し、 $\alpha_s = Q_y / W_e$ Q_y ：ダンパーの降伏耐力
 W_e ：上部建物の総重量

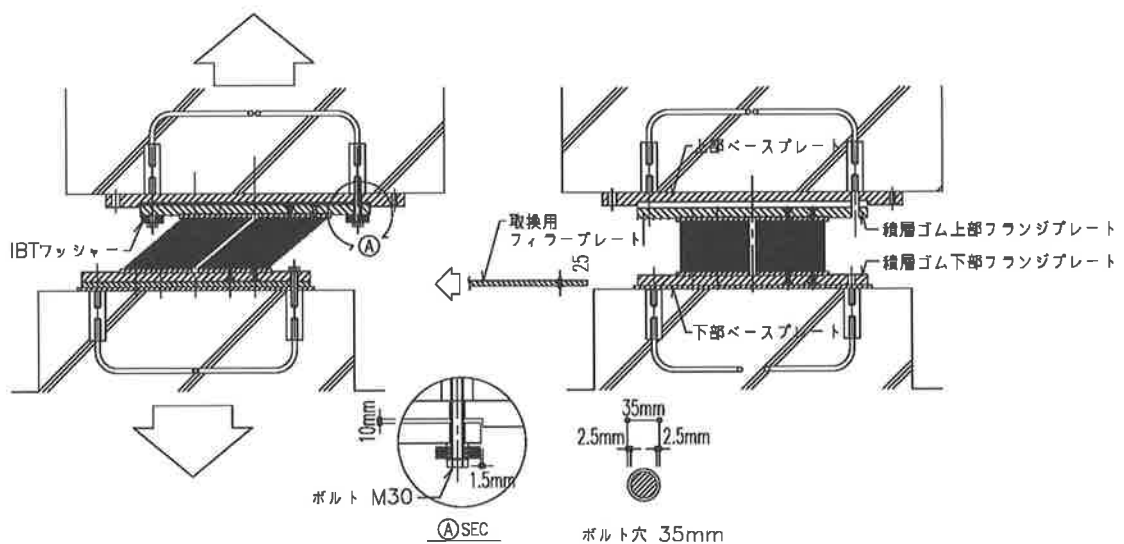


図-5. 積層ゴム支承の浮上り対策

6. 浮上りを許容する積層ゴム支承

浮上りを許容する積層ゴム支承の取付け法は、本計画で採用しているIBTワッシャー⁴⁾を使用したもの、また、ゴムワッシャー⁴⁾を使用した例等があるが、本設計では、大地震を被災した際を想定し、積層ゴム支承の取付け部が浮上り、ベースプレートがスベリ、ボルトに接触し、ボルトに軸力とせん断力が作用する状態を改善することを設計のテーマとした。また、浮上りに対して機構上の信頼を高める工夫を試みた。

図-5が今回採用したIBTワッシャーを使用した取付け法である。上部の取付けベースプレートに、積層ゴム支承のフランジプレートの直径に3mm程度の余裕を持ち、深さ20mmの円形の溝を掘削し、その溝に積層ゴムの上部フランジプレートを挿入する方法を採用した。また、上部フランジプレートとベースプレート間の取付けボルトに、山口昭一氏（東京建築研究所）らが使用している、スプリングワッシャーとして機能するIBTワッシャー（一枚、5mmの変形が可能）を2枚、直列に取付け、設計では5mm程度の浮上りに対して、余裕を持ち10mm程度の浮上り量で設計を行った。従って、10mm浮上っても、上部ベースプレートと積層ゴム支承の上部フランジには10mmの掛かりがあり、支圧で積層ゴム支承のせん断力を基礎に伝える工夫を行った。

また、フランジプレートに20mmの溝を掘る加工を行ったことから、支承の取替え時にジャッキアップ量が大きくなる問題がある。改善策として、積層ゴム支承と下部のベースプレートの間に25mmのフィラープレートを挿入した。取替え時に、数ミリ、ジャッキアップし、フィラープレートを引抜くことで、上部建物の負担を少なく、積層ゴム支承を交換することを可能にした。

7. 浮上りを許容する積層ゴム支承の実験

積層ゴム支承の取付け法の挙動を確認するために、直径700mmの天然ゴム系積層ゴム支承2体を試験体として、実験を行った。

実施した試験を表-3に示す。表-4に測定項目、図-6にセンサー配置、写真-1にボルトの

軸力を測定した歪みゲージを示す。

実験では、実際の設置時には上側に設置される20mmの溝を掘削したベースプレートを下側にして実験を行った。

実験で確認する項目は、以下である。

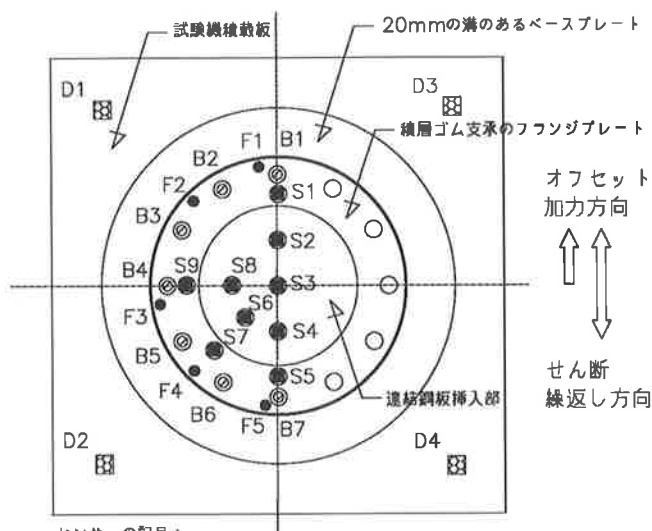
- 1) 大変形時 ($\gamma = 250\%$) に25mm程度の浮上りに対して、積層ゴム支承に問題が発生しない。
- 2) 圧縮-引張状態でも、積層ゴム支承のバネの線形性が確保されている。
- 3) フランジプレートの変形状態と、ベースプレート溝の接触部分に問題が発生しない。

表-3 試験の組合せ

積層ゴム	試験項目
NO 1 700φ G=0.35N/mm ² S ₂ =5 ゴム総厚 tr=137.8mm	基本性能試験（鉛直・水平バネ） オフセット引張試験 1) オフセットせん断歪み 0%、100%、200%、250% 2) 引張変位 0~5mm、0~10mm、0~15mm、0~25mm
NO 2 700φ G=0.35N/mm ² S ₂ =5 ゴム総厚 tr=137.8mm	基本性能試験（鉛直・水平バネ） 引張せん断試験 1) せん断歪み ±100%、±200%、±250% 2) 引張変位 5mm、10mm、15mm 鉛直荷重変動試験 1) 軸力変動 -1N/mm ² ~10N/mm ² ~25N/mm ² 2) せん断歪み -250% ~ 0% ~250%

表-4 測定項目

測定項目	箇所数
フランジ-ベースプレート間変位測定	5箇所
載荷板間変位	4箇所
ボルト荷重測定	7箇所
積層ゴム支承フランジ歪み測定	9箇所



センサーの記号：

- : 取付けボルトM30、センサーなし
- ◎ : ボルト軸力測定 B1~B7
- : フランジ浮上り変位測定 F1~F5
- : 積層ゴム支承フランジの歪み測定 S1~S9
- ⊠ : 試験機積載板変位測定 D1~D4

図-6 センサー配置

った。図-7が水平変位と積層ゴム支承のせん断力の関係を示す。圧縮側は復元力曲線にふくらみが生じるが、引張側はふくらみが少ない。積層ゴム支承に浮上りが生じても、復元力の線形性は確保されている。図-8は鉛直方向の荷重と変位の関係で、想定している長期荷重 ($\sigma=10\text{N}/\text{mm}^2$) で2mm程度鉛直方向に変位し、荷重が $\sigma=25\text{N}/\text{mm}^2$ に増加し、水平方向に345mm変形すると7.4mm、鉛直荷重を $\sigma=-1\text{N}/\text{mm}^2$ に減少させながら水平方向に-345mm変形すると、-3.9mmまで変位する結果を得た。積層ゴム支承の平均的な浮上り量は4mm程度である。それに対して、取付けフランジの浮上り量は、中心に対して約45度の間隔で、センサーをF1からF5で配置し、片面の浮上りを測定している。浮上り量は、F1は4.5mm、F2は3.9mm、中央のF4が2.3mm、F2が0.75mm浮上っているが、F5では引張時に浮上りは発生していない。IBTワッシャーが変形し、浮上りの変形を吸収している。

オフセット引張、引張せん断試験で、最大でせん断歪み250%、引張変位25mmを載荷した試験を繰返したが、IBTワッシャーの平バネに1mm程度の残留変形が確認されたが、積層ゴム支承、取付けベースプレートとフランジプレートの接触部、IBTワッシャーに損傷は確認されなかった。

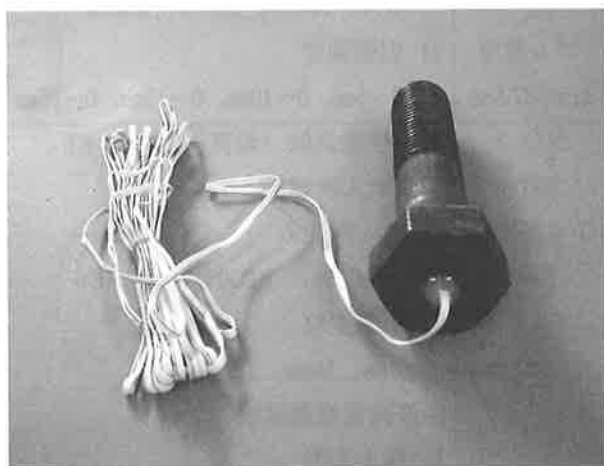


写真-1 ボルトの歪みゲージ

本報では、地震時の積層ゴム支承の変形、荷重状態を再現した、鉛直荷重変動試験の結果を報告する。

鉛直荷重変動試験の条件は、積層ゴム支承のせん断歪み $\gamma = \pm 250\%$ 、水平変位 $\pm 345\text{mm}$ で、水平変位がゼロの時に、積層ゴム支承の標準的な長期面圧 $\sigma=10\text{N}/\text{mm}^2$ 、水平変位+345mmで面圧 $\sigma=25\text{N}/\text{mm}^2$ 、水平変位-345mmで面圧 $\sigma=-1\text{N}/\text{mm}^2$ の載荷条件で、水平方向は変位制御、鉛直方向は荷重制御で試験を行った。従って、(+) 積荷と、(-) 積荷の水平変位に対する荷重増分に差がある条件で実験を行

8. まとめ

断層近傍の強震動に対して、免震建物の安全性を向上するために、積層ゴム支承の引張応力対策として、浮上りを許容し、積層ゴム支承の負担を軽減する設計法は有効と考えられる。

また、鉛直震動に対する応答低減にも、鉛直バネの引張側の剛性低下は有効であることを設計では確認している。IBTワッシャー2枚で10mmの浮上りで設計したが、IBTワッシャーを挟まない設計の可能性も考えられる。しかし、ボルトの保持、また、応答量が許容寸法を越え、取付けボルトにフランジが衝突する可能性を考えると、衝撃力を緩和するためにも、本装置の組合せは有効であると考えている。

今後、実験の分析と、装置の最適な特性の検討、実施例の蓄積を行う考えである。

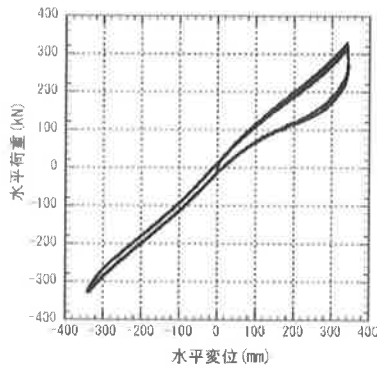


図-7 水平変位と復元力

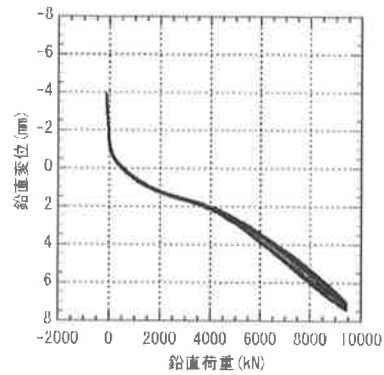


図-8 鉛直荷重と鉛直変位

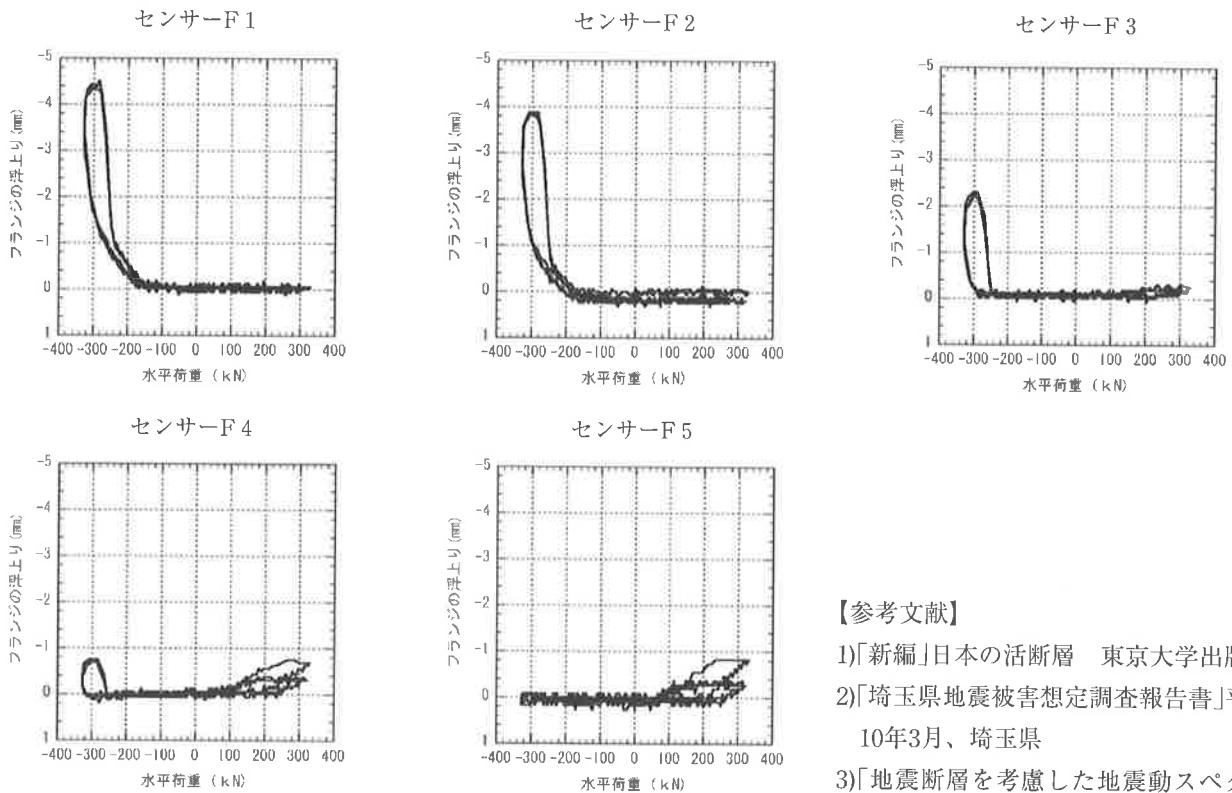


図-9 フランジの浮上り量 (mm)

【参考文献】

- 1)「新編」日本の活断層 東京大学出版会
- 2)「埼玉県地震被害想定調査報告書」平成10年3月、埼玉県
- 3)「地震断層を考慮した地震動スペクトルの推定」、翠川・小林、日本建築学会論文報告集第282号。昭和54年8月
- 4)「免震構造建築物」-その技術開発と地震観測結果」PART3-日本建築センター

【謝辞】

深谷赤十字病院の設計、監理のなかで、浮上りを許容する積層ゴム支承の設計、性能試験を行いました。深谷赤十字病院と建設企業体の関係各位に謝意を表します。また、浮上りを許容する設計は、東京工業大学、和田章教授との相談が切っ掛けになりました。一般的な設計を志向する我々に対して、積層ゴム支承の浮上りを許容する方向に後押し頂き、また、積層ゴム支承の取付けに対する心

配に対して、貴重な助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。また、IBTワッシャの使用、技術資料、材料認定の問題に対して、多大なご支援を頂いた東京建築研究所、山口昭一氏、中澤俊幸氏、実験は本装置の製作を担当した昭和電線電纜で行い、実験の実施とデータの整理を行って頂いた村松佳孝氏、福田滋夫氏、など多くの関係者に対して謝意を表します。