

第4章 損壊被害関数の作成

4.1 はじめに

本章では、第3章で設定した復元力特性や減衰を用いて時刻歴応答解析を行い、同じく耐力分布、変形クライテリアにより被害率を求めて損壊被害関数を作成した結果を示す。時刻歴応答解析に用いる入力地震動は、改めて選択したので次節にて選択方法や選択した波形を示す。

4.2 入力地震動の選択

損壊被害関数の作成用の応答解析に用いる入力地震動は、水平2方向を時刻歴で合成した時刻歴の最大速度を基準として10 cm/s ~200 cm/s までの10 cm/s 刻みで設定した各入力レベル（以下、PGV レベル）において、以下の条件で7記録ずつ選定した。

- 表 4.2.1に示す21地震について、公的機関(気象庁、防災科学研究所 K-NET、kik-net)により公開される地震観測記録を対象とする。
- 各観測記録において0° から175° まで5° 刻みの各方向について速度波形を計算し、各方向 PGV の最大値を「最大方向 PGV」、平均値を「平均 PGV」とし、平均 PGV に最も近い方向成分の波形を「平均方向成分の時刻歴」として用いる。
- 各 PGV レベルについて、最大方向 PGV が近い7記録を選択する。
- 原則として各 PGV レベルで選択する7記録は異なる地震とする。ただし、1つの地震のみ2記録の選択を許容する。
- 大振幅の記録は限定的であることから、100cm/s 以上の PGV レベルでは、観測記録の振幅を1.5倍、2.0倍に拡幅した波形も対象とする。
- なお、多様な地震を平均的に表現するため、プレート境界地震やプレート内地震などの地震タイプが偏らないように選択する。

選択した入力地震動セットを表 4.2.2 に示す。また、時刻歴応答解析に用いる入力地震動は、選択した7記録の最大方向 PGV が各 PGV レベルに一致するようスケールリングした上で、PGV の平均方向成分の時刻歴とする。また、表 4.2.2 に記載の「記録 ID」は、観測年月日を示す8桁の数字と気象庁、防災科学研究所 (K-NET、kik-net) の地震観測点コードの組み合わせである。

表 4.2.1 地震観測記録の収集対象地震

| 地震名 | M | 深さ | 最大震度 |
|-----------------------|-----|-------|------|
| 1995年 兵庫県南部地震 | 7.3 | 16km | 7 |
| 2001年 芸予地震 | 6.7 | 51km | 6弱 |
| 2003年 宮城県沖を震源とする地震 | 7.1 | 72km | 6弱 |
| 2003年 十勝沖地震 | 8.0 | 45km | 6弱 |
| 2004年 新潟県中越地震 | 6.8 | 13km | 7 |
| 2005年 福岡県西方沖を震源とする地震 | 7.0 | 9km | 6弱 |
| 2007年 能登半島地震 | 6.9 | 11km | 6強 |
| 2007年 新潟県中越沖地震 | 6.8 | 17km | 6強 |
| 2008年 岩手宮城内陸地震 | 7.2 | 10km | 6強 |
| 2008年 岩手県沿岸北部を震源とする地震 | 6.8 | 120km | 6強 |
| 2009年 駿河湾を震源とする地震 | 6.6 | 20km | 6弱 |
| 2011年 東北地方太平洋沖地震 | 9.0 | 24km | 7 |
| 2011年 静岡県東部を震源とする地震 | 6.4 | 14km | 6強 |
| 2011年 宮城県沖を震源とする地震 | 7.2 | 66km | 6強 |
| 2013年 十勝地方南部を震源とする地震 | 6.5 | 108km | 5強 |
| 2013年 淡路島を震源とする地震 | 6.3 | 15km | 6弱 |
| 2014年 伊予灘を震源とする地震 | 6.2 | 78km | 5強 |
| 2016年 熊本地震（4/16本震） | 7.3 | 10km | 7 |
| 2016年 鳥取県中部を震源とする地震 | 6.6 | 11km | 6弱 |
| 2018年 大阪府北部を震源とする地震 | 5.9 | 10km | 6弱 |
| 2018年 北海道胆振東部地震 | 6.7 | 37km | 7 |

表 4.2.2 PGV レベル別 入力地震動一覧

| PGV レベル | 地震発生日 | 地震名 | 記録 ID | 最大方向 PGV | 平均方向 PGV | 入力倍率 |
|---------|------------|-----------------|----------------------|----------|----------|------|
| 10 | 2008/7/24 | 岩手県沿岸北部を震源とする地震 | 20080724_IWTH26 | 10.0 | 8.8 | 1.00 |
| 10 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_FKO012 | 10.0 | 8.6 | 1.00 |
| 10 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_AOM010 | 10.0 | 7.8 | 1.00 |
| 10 | 2001/3/24 | 芸予地震 | 20010324_KOC007 | 10.0 | 7.5 | 1.00 |
| 10 | 2018/6/18 | 大阪府北部を震源とする地震 | 20180618_OSK006 | 10.0 | 7.0 | 1.00 |
| 10 | 2005/3/20 | 福岡県西方沖を震源とする地震 | 20050320_FKO008 | 10.0 | 8.3 | 1.00 |
| 10 | 2008/6/14 | 岩手宮城内陸地震 | 20080614_YMT006 | 10.0 | 8.3 | 1.00 |
| 20 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD081 | 20.0 | 15.7 | 1.00 |
| 20 | 2007/7/16 | 新潟県中越沖地震 | 20070716_NIG014 | 20.0 | 16.3 | 1.00 |
| 20 | 2007/3/25 | 能登半島地震 | 20070325_TYM002 | 20.0 | 18.0 | 1.00 |
| 20 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_HKD182 | 20.0 | 14.6 | 1.00 |
| 20 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_IWTH27 | 20.0 | 18.3 | 1.00 |
| 20 | 2011/4/7 | 宮城県沖を震源とする地震 | 20110407_IWT013 | 20.1 | 16.7 | 1.00 |
| 20 | 2016/10/21 | 鳥取県中部を震源とする地震 | 20161021_OKY015 | 19.9 | 15.3 | 1.00 |
| 30 | 2008/7/24 | 岩手県沿岸北部を震源とする地震 | 20080724_IWTH12 | 29.9 | 20.7 | 1.00 |
| 30 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_IWT020 | 30.1 | 22.8 | 1.00 |
| 30 | 2018/6/18 | 大阪府北部を震源とする地震 | 20180618_17_LG_77040 | 29.8 | 25.1 | 1.01 |
| 30 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_NMRH02 | 30.3 | 23.1 | 0.99 |
| 30 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_14_LG_51654 | 30.3 | 25.5 | 0.99 |
| 30 | 2001/3/24 | 芸予地震 | 20010324_HRS009 | 30.4 | 24.8 | 0.99 |
| 30 | 2007/7/16 | 新潟県中越沖地震 | 20070716_NIG025 | 29.6 | 24.6 | 1.01 |

表 4.2.2 PGV レベル別 入力地震動一覧

| PGV レベル | 地震発生日 | 地震名 | 記録 ID | 最大方向 PGV | 平均方向 PGV | 入力倍率 |
|---------|------------|---------------|-----------------------|----------|----------|------|
| 40 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_KSRH10 | 40.0 | 34.7 | 1.00 |
| 40 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIG020 | 40.0 | 29.7 | 1.00 |
| 40 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_IBR010 | 40.1 | 32.4 | 1.00 |
| 40 | 2003/5/26 | 宮城県沖を震源とする地震_ | 20030526_IWTH20 | 39.8 | 31.0 | 1.00 |
| 40 | 2018/6/18 | 大阪府北部を震源とする地震 | 20180618_10_LG_76026 | 40.2 | 27.8 | 1.00 |
| 40 | 2009/8/11 | 駿河湾を震源とする地震 | 20090811_SZOH42 | 39.8 | 32.7 | 1.01 |
| 40 | 2011/4/7 | 宮城県沖を震源とする地震 | 20110407_MYG010 | 39.7 | 32.6 | 1.01 |
| 50 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_IWT012 | 49.8 | 38.8 | 1.00 |
| 50 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMMH02 | 50.3 | 36.4 | 0.99 |
| 50 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_04_JMA_47487 | 50.7 | 36.1 | 0.99 |
| 50 | 2008/6/14 | 岩手宮城内陸地震 | 20080614_MYG004 | 49.3 | 43.7 | 1.01 |
| 50 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIG017 | 51.0 | 38.9 | 0.98 |
| 50 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_KSRH02 | 48.9 | 45.6 | 1.02 |
| 50 | 2011/4/7 | 宮城県沖を震源とする地震 | 20110407_MYG004 | 48.6 | 43.1 | 1.03 |
| 60 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_FKS001 | 60.0 | 45.3 | 1.00 |
| 60 | 2007/3/25 | 能登半島地震 | 20070325_ISK006 | 60.0 | 44.2 | 1.00 |
| 60 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_HKD125 | 60.4 | 51.5 | 0.99 |
| 60 | 2008/6/14 | 岩手宮城内陸地震 | 20080614_IWTH26 | 59.1 | 51.6 | 1.01 |
| 60 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMMH14 | 60.9 | 51.4 | 0.99 |
| 60 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD092 | 59.0 | 54.5 | 1.02 |
| 60 | 2003/5/26 | 宮城県沖を震源とする地震_ | 20030526_MYG011 | 58.7 | 43.6 | 1.02 |

表 4.2.2 PGV レベル別 入力地震動一覧

| PGV レベル | 地震発生日 | 地震名 | 記録 ID | 最大方向 PGV | 平均方向 PGV | 入力倍率 |
|---------|------------|---------------|-----------------------|----------|----------|------|
| 70 | 2008/6/14 | 岩手宮城内陸地震 | 20080614_MYG005 | 69.6 | 55.4 | 1.01 |
| 70 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIG028 | 70.6 | 63.4 | 0.99 |
| 70 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_03_JMA_EED | 69.1 | 61.5 | 1.01 |
| 70 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_IBR013 | 68.4 | 62.7 | 1.02 |
| 70 | 2011/4/7 | 宮城県沖を震源とする地震 | 20110407_MYG006 | 68.0 | 51.7 | 1.03 |
| 70 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD066 | 65.2 | 47.1 | 1.07 |
| 70 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_04_JMA_47487 | 50.7 | 36.1 | 1.38 |
| 80 | 2011/4/7 | 宮城県沖を震源とする地震 | 20110407_IWT010 | 53.4 | 41.5 | 1.50 |
| 80 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_MYG015 | 79.8 | 64.1 | 1.00 |
| 80 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMMH03 | 80.8 | 55.0 | 0.99 |
| 80 | 2011/3/15 | 静岡県東部を震源とする地震 | 20110315_SZO011 | 81.1 | 57.9 | 0.99 |
| 80 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD091 | 78.7 | 64.5 | 1.02 |
| 80 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_03_LG_51804 | 51.3 | 38.2 | 1.56 |
| 80 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIG017 | 51.0 | 38.9 | 1.57 |
| 90 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_FKS001 | 60.0 | 45.3 | 1.50 |
| 90 | 2007/3/25 | 能登半島地震 | 20070325_ISK006 | 60.0 | 44.2 | 1.50 |
| 90 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_HKD125 | 60.4 | 51.5 | 1.49 |
| 90 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_IBUH03 | 91.1 | 80.5 | 0.99 |
| 90 | 2008/6/14 | 岩手宮城内陸地震 | 20080614_IWTH26 | 59.1 | 51.6 | 1.52 |
| 90 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMM006 | 91.3 | 74.6 | 0.99 |
| 90 | 2003/5/26 | 宮城県沖を震源とする地震_ | 20030526_MYG011 | 58.7 | 43.6 | 1.53 |

表 4.2.2 PGV レベル別 入力地震動一覧

| PGV レベル | 地震発生日 | 地震名 | 記録 ID | 最大方向 PGV | 平均方向 PGV | 入力倍率 |
|---------|------------|---------------|-----------------------|----------|----------|------|
| 100 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_TCG014 | 66.4 | 52.7 | 1.51 |
| 100 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIG021 | 66.3 | 52.0 | 1.51 |
| 100 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMMH02 | 50.3 | 36.4 | 1.99 |
| 100 | 2011/4/7 | 宮城県沖を震源とする地震 | 20110407_MYG013 | 67.3 | 54.5 | 1.49 |
| 100 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_04_JMA_47487 | 50.7 | 36.1 | 1.97 |
| 100 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD066 | 65.2 | 47.1 | 1.53 |
| 100 | 1995/1/17 | 兵庫県南部地震 | 19950117_JR_TAKARAZ | 96.4 | 77.0 | 1.04 |
| 110 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_FKSH11 | 54.8 | 47.2 | 2.01 |
| 110 | 2008/6/14 | 岩手宮城内陸地震 | 20080614_AKTH04 | 74.2 | 61.5 | 1.48 |
| 110 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD085 | 55.7 | 44.2 | 1.98 |
| 110 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIGH01 | 74.3 | 62.6 | 1.48 |
| 110 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_02_JMA_EEB | 72.3 | 61.9 | 1.52 |
| 110 | 2011/4/7 | 宮城県沖を震源とする地震 | 20110407_IWT010 | 53.4 | 41.5 | 2.06 |
| 110 | 1995/1/17 | 兵庫県南部地震 | 19950117_JMA_KOBE | 105.3 | 80.3 | 1.04 |
| 120 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_FKS001 | 60.0 | 45.3 | 2.00 |
| 120 | 2007/3/25 | 能登半島地震 | 20070325_ISK006 | 60.0 | 44.2 | 2.00 |
| 120 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_HKD125 | 60.4 | 51.5 | 1.99 |
| 120 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMMH03 | 80.8 | 55.0 | 1.49 |
| 120 | 2011/3/15 | 静岡県東部を震源とする地震 | 20110315_SZO011 | 81.1 | 57.9 | 1.48 |
| 120 | 2008/6/14 | 岩手宮城内陸地震 | 20080614_IWTH26 | 59.1 | 51.6 | 2.03 |
| 120 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD091 | 78.7 | 64.5 | 1.52 |

表 4.2.2 PGV レベル別 入力地震動一覧

| PGV レベル | 地震発生日 | 地震名 | 記録 ID | 最大方向 PGV | 平均方向 PGV | 入力倍率 |
|---------|------------|--------------|-----------------------|----------|----------|------|
| 130 | 1995/1/17 | 兵庫県南部地震 | 19950117_DG_FUKIAI | 130.3 | 91.1 | 1.00 |
| 130 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD066 | 65.2 | 47.1 | 1.99 |
| 130 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_TCGH13 | 64.7 | 48.6 | 2.01 |
| 130 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMM008 | 84.9 | 71.4 | 1.53 |
| 130 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIG021 | 66.3 | 52.0 | 1.96 |
| 130 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_01_JMA_47004 | 132.9 | 104.6 | 0.98 |
| 130 | 2007/7/16 | 新潟県中越沖地震 | 20070716_NIG018 | 126.7 | 90.1 | 1.03 |
| 140 | 2008/6/14 | 岩手宮城内陸地震 | 20080614_MYG005 | 69.6 | 55.4 | 2.01 |
| 140 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIG028 | 70.6 | 63.4 | 1.98 |
| 140 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMM004 | 92.4 | 80.5 | 1.51 |
| 140 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_IBR013 | 68.4 | 62.7 | 2.05 |
| 140 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_HKD127 | 95.5 | 69.7 | 1.47 |
| 140 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_IBUH03 | 91.1 | 80.5 | 1.54 |
| 140 | 2011/4/7 | 宮城県沖を震源とする地震 | 20110407_MYG006 | 68.0 | 51.7 | 2.06 |
| 150 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_FKSH14 | 75.1 | 57.7 | 2.00 |
| 150 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIGH01 | 74.3 | 62.6 | 2.02 |
| 150 | 2008/6/14 | 岩手宮城内陸地震 | 20080614_AKTH04 | 74.2 | 61.5 | 2.02 |
| 150 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_HKD126 | 151.7 | 104.1 | 0.99 |
| 150 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD098 | 102.4 | 73.7 | 1.46 |
| 150 | 1995/1/17 | 兵庫県南部地震 | 19950117_JR_TAKATOR | 155.1 | 116.8 | 0.97 |
| 150 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_02_JMA_EEB | 72.3 | 61.9 | 2.07 |

表 4.2.2 PGV レベル別 入力地震動一覧

| PGV レベル | 地震発生日 | 地震名 | 記録 ID | 最大方向 PGV | 平均方向 PGV | 入力倍率 |
|---------|-----------|---------------|----------------------|----------|----------|------|
| 160 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_MYG015 | 79.8 | 64.1 | 2.00 |
| 160 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMMH03 | 80.8 | 55.0 | 1.98 |
| 160 | 1995/1/17 | 兵庫県南部地震 | 19950117_JMA_KOBE | 105.3 | 80.3 | 1.52 |
| 160 | 2011/3/15 | 静岡県東部を震源とする地震 | 20110315_SZO011 | 81.1 | 57.9 | 1.97 |
| 160 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD091 | 78.7 | 64.5 | 2.03 |
| 160 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_HKD128 | 104.1 | 93.2 | 1.54 |
| 160 | 2007/3/25 | 能登半島地震 | 20070325_ISK005 | 103.7 | 70.2 | 1.54 |
| 170 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMM008 | 84.9 | 71.4 | 2.00 |
| 170 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_KSRH09 | 84.8 | 63.6 | 2.00 |
| 170 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_FKSH20 | 111.2 | 78.8 | 1.53 |
| 170 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_02_LG_51200 | 115.5 | 83.0 | 1.47 |
| 170 | 2011/3/15 | 静岡県東部を震源とする地震 | 20110315_SZO011 | 81.1 | 57.9 | 2.10 |
| 170 | 1995/1/17 | 兵庫県南部地震 | 19950117_JMA_KOBE | 105.3 | 80.3 | 1.61 |
| 170 | 2007/3/25 | 能登半島地震 | 20070325_ISK005 | 103.7 | 70.2 | 1.64 |
| 180 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_MYG006 | 91.0 | 72.2 | 1.98 |
| 180 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_IBUH03 | 91.1 | 80.5 | 1.98 |
| 180 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMM006 | 91.3 | 74.6 | 1.97 |
| 180 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_02_LG_51200 | 115.5 | 83.0 | 1.56 |
| 180 | 2007/7/16 | 新潟県中越沖地震 | 20070716_NIG018 | 126.7 | 90.1 | 1.42 |
| 180 | 1995/1/17 | 兵庫県南部地震 | 19950117_JR_TAKARAZ | 96.4 | 77.0 | 1.87 |
| 180 | 2011/3/15 | 静岡県東部を震源とする地震 | 20110315_SZO011 | 81.1 | 57.9 | 2.22 |

表 4.2.2 PGV レベル別 入力地震動一覧

| PGV レベル | 地震発生日 | 地震名 | 記録 ID | 最大方向 PGV | 平均方向 PGV | 入力倍率 |
|---------|------------|------------|-----------------------|----------|----------|------|
| 190 | 2007/7/16 | 新潟県中越沖地震 | 20070716_NIG018 | 126.7 | 90.1 | 1.50 |
| 190 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_HKD127 | 95.5 | 69.7 | 1.99 |
| 190 | 1995/1/17 | 兵庫県南部地震 | 19950117_JR_TAKARAZ | 96.4 | 77.0 | 1.97 |
| 190 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_TKCH07 | 97.5 | 77.7 | 1.95 |
| 190 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMM004 | 92.4 | 80.5 | 2.06 |
| 190 | 2011/3/11 | 東北地方太平洋沖地震 | 20110311_MYG006 | 91.0 | 72.2 | 2.09 |
| 190 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIG019 | 134.3 | 104.7 | 1.41 |
| 200 | 2018/9/6 | 北海道胆振東部地震 | 20180906_01_JMA_47004 | 132.9 | 104.6 | 1.50 |
| 200 | 2016/4/16 | 熊本地震 | 20160416_KMMH16 | 133.8 | 109.1 | 1.50 |
| 200 | 2003/9/26 | 十勝沖地震 | 20030926_HKD086 | 134.1 | 96.4 | 1.49 |
| 200 | 2004/10/23 | 新潟県中越地震 | 20041023_NIG019 | 134.3 | 104.7 | 1.49 |
| 200 | 1995/1/17 | 兵庫県南部地震 | 19950117_DG_FUKIAI | 130.3 | 91.1 | 1.53 |
| 200 | 2007/3/25 | 能登半島地震 | 20070325_ISK005 | 103.7 | 70.2 | 1.93 |
| 200 | 2007/7/16 | 新潟県中越沖地震 | 20070716_NIG018 | 126.7 | 90.1 | 1.58 |

入力地震動に用いた観測記録の周期特性を、加速度応答スペクトルで確認した。

まず、収集した 21 地震の観測記録のうち、方向別の PGV の最大値が 10~40cm/s の全記録を対象として、最大方向波形の加速度応答スペクトル（減衰 5%）を図 4.2.1 に示す。同様に 40~80 cm/s の記録を図 4.2.2 に、80~120cm/s の記録を図 4.2.3 に、120cm/s 以上の記録を図 4.2.4 に示す。これらの図に青破線で示す各観測記録の加速度応答スペクトルは最大加速度で基準化している。赤実線は各周期でのスペクトル値の平均、赤破線は同じく平均±1 標準偏差を示す。参考として、告示スペクトル（解放工学的基盤）を黒線で重ねて示した。

図 4.2.1 や図 4.2.2 では、0.2 秒以下の短周期が卓越する傾向が見られる。一方、図 4.2.3 や図 4.2.4 では、相対的に小さな振幅レベルの地震記録である図 4.2.1 に比べて、平均的なピークとなる周期が 0.4 秒程度と長くなり、また長周期の成分も大きくなる傾向が確認できる。

次に、損壊被害関数の構築に用いるため抽出した入力地震動セットの観測記録について、PGV レベルを 5 つに区分し、各区分での加速度応答スペクトルの平均を重ねて図 4.2.5 に示した。PGV レベルの区分が大きくなるほど、ピークの周期が長周期側にずれ、長周期成分がより増大する傾向が確認できた。これは、図 4.2.1~図 4.2.4 でみた見た全体の傾向と一致しており、各 PGV レベルで 7 記録ずつ選ぶことでも 21 地震の全観測記録の傾向を十分とらえていると考えられる。

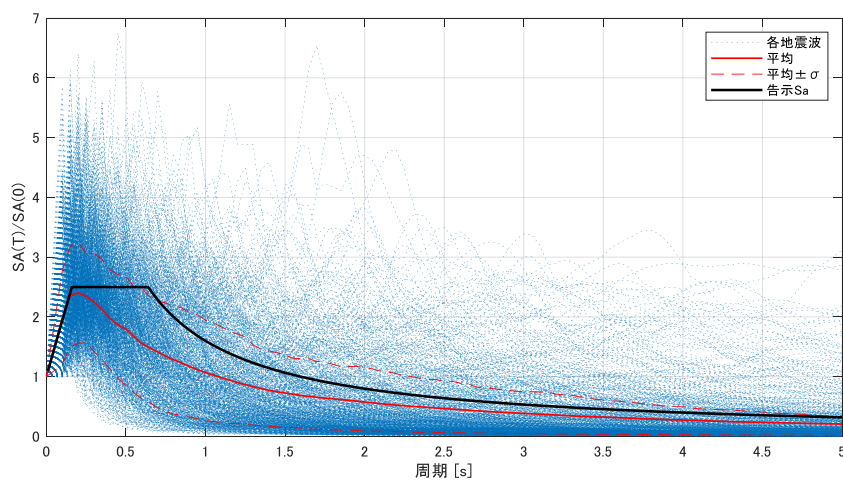


図 4.2.1 21 地震の観測記録（10~40cm/s）の加速度応答スペクトル

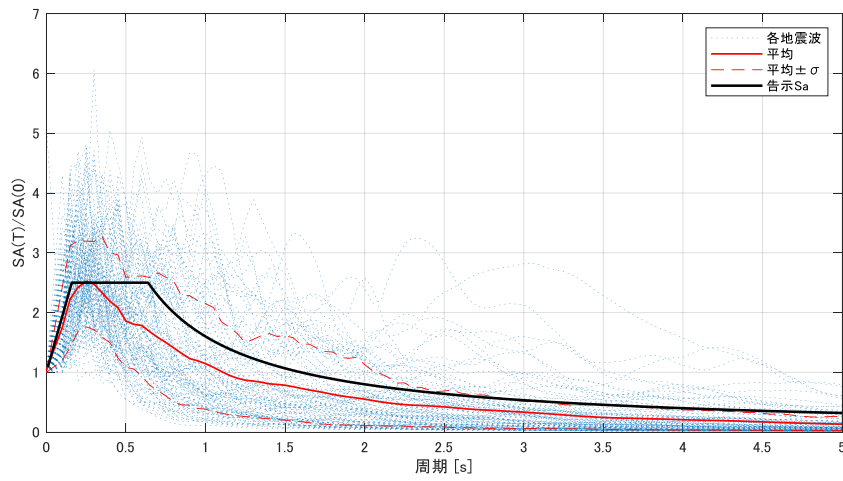


図 4.2.2 21 地震の観測記録（40～80 cm/s）の加速度応答スペクトル

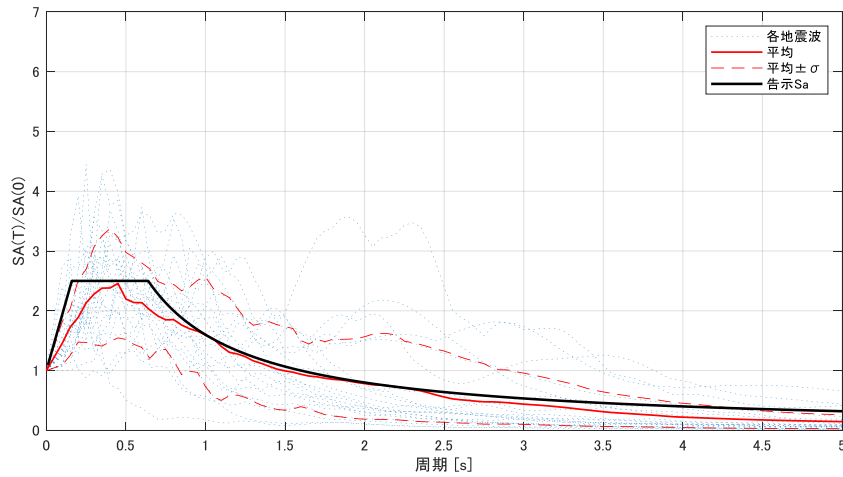


図 4.2.3 21 地震の観測記録（80～120cm/s）の加速度応答スペクトル

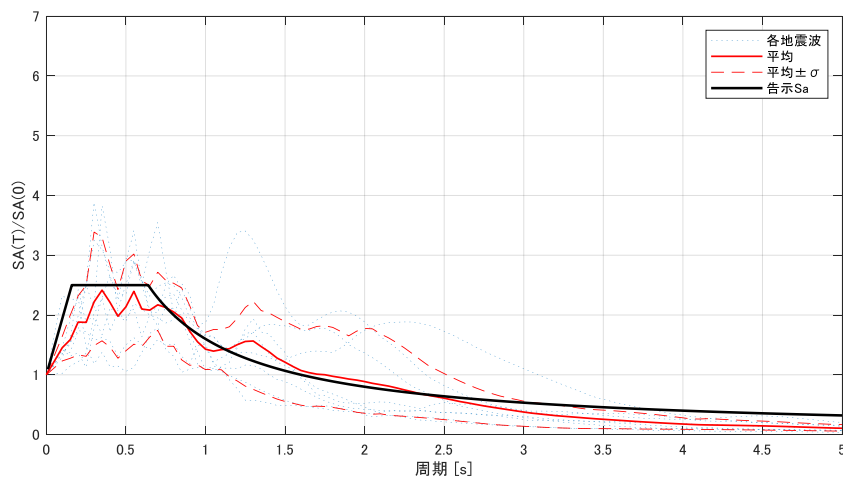


図 4.2.4 21 地震の観測記録（120cm/s 以上）の加速度応答スペクトル

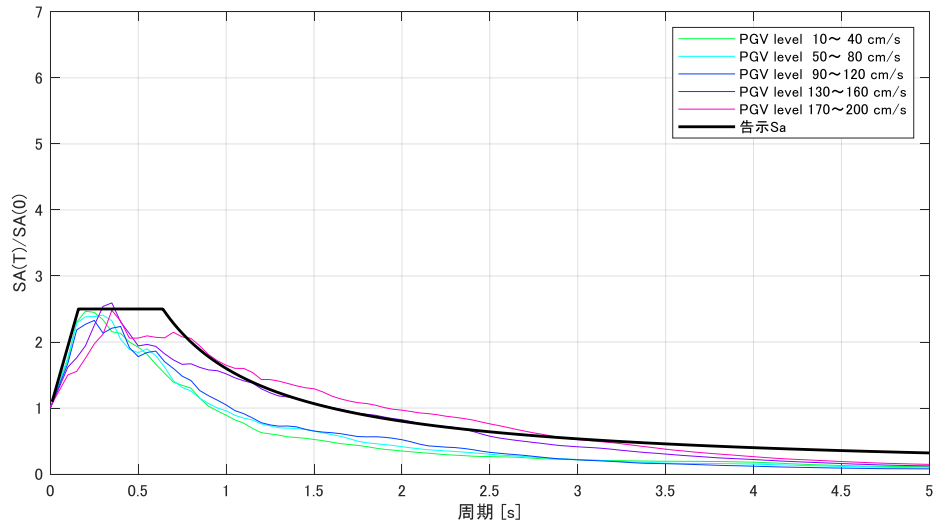


図 4.2.5 抽出した入力地震動セットの加速度応答スペクトル

4.3 損壊被害関数の作成

第3章と前節でそれぞれ示した構造別、建築年代別パラメータと入力地震動セットを用いて時刻歴応答解析を実施して被害率を求めた。さらに被害率とPGVの関係を対数正規分布で回帰して損壊被害関数を作成した。以下、構造種別、建築年代ごとに作成方法の詳細を記述し、作成結果を整理する。

4.3.1 在来木造

在来木造モデルは、降伏ベースシア係数（以後Cb）0.1～2.0まで（Cb < 1.0で0.05刻み、Cb ≥ 1.0で0.1刻み）の建物モデルを作成し、時刻歴応答解析を実施した。建築年1981～2000年の平均耐力として設定したCb=0.65の場合について、PGVと最大応答変形角の関係を図4.3.1に例示する。図4.3.1では130cm/sよりPGVが大きい領域のプロットが7点より少ない。これは縦軸の最大値を0.05（=1/20とし、それ以上の結果は図の外にでていたためであるが、今回設定した変形クライテリアでは1/20を超えると、全壊率もほぼ1と計算される。

図4.3.1からPGVが大きくなるにつれて、同じPGVでも最大層間変形角のばらつきが大きくなること、またPGVが80cm/s程度から、最大層間変形角が大きく2つのグループに分かれることが見て取れる。これは降伏点（1/120=0.08）を超えると塑性化に伴い、位相特性など入力地震動のわずかな違いが最大層間変形角に影響するからである。

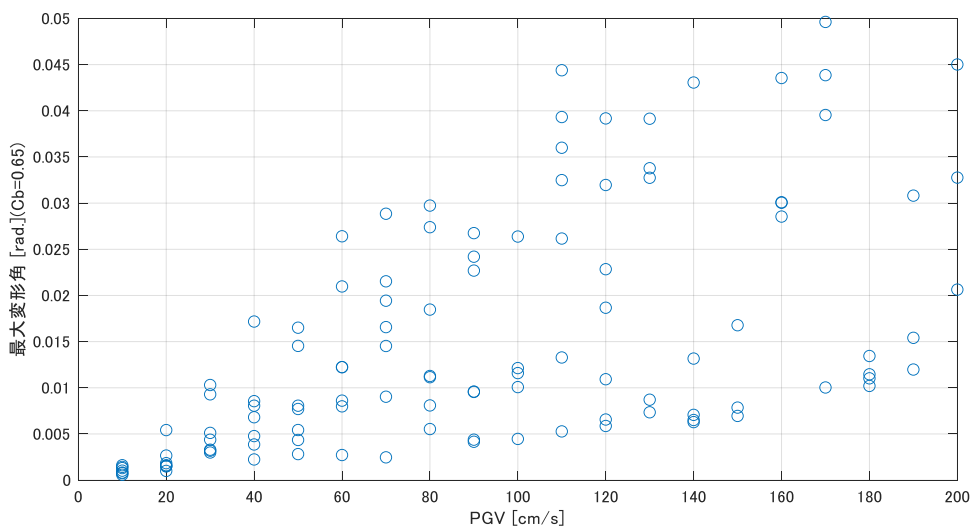


図 4.3.1 地震応答解析による最大応答変形角
(木造建物モデル 建築年代 1981～2000 年の平均相当)

図 4.3.1 に例示される耐力 (Cb) 別の最大層間変形角と変形クライテリアから被害率を計算し、建築年代別の Cb の分布を用いた各耐力の重み付き平均により、入力地震動ごとの被害率が算定できる(詳しくは第 2 章の損壊被害関数の作成方法の概要(図 2.2.1)を参照)。図 4.3.2 に設定した変形クライテリアと年代別耐力分布を示す。図 4.3.2 には、3 本の変形クライテリアが記載されているが、青で記載したものが第 3 章に述べた方法で設定した変形クライテリアで、赤と緑は、これをそれぞれ 2 倍、3 倍したものである。震災研の議論において、変形クライテリアは今回設定した値よりも大きい可能性があることが指摘されたため、その設定が被害率に与える影響を確認する感度解析を行う目的で設定した。

図 4.3.3 に、建築年代 1981~2000 年の半損以上を対象とした被害率と損壊被害関数の計算事例を示す。図中の白抜き青丸が入力地震動別に計算した被害率、青実線が対数正規分布による回帰結果である。130cm/s よりも大きい PGV レベルでは、プロットが 7 つよりも少なく見える部分で、被害率 1 に重なっていることに注意されたい。回帰は各被害率の誤差二乗和を最小化するように対数正規分布の中央値と分散を定めた。フィッティングする確率分布形としては対数正規分布以外の分布形もとり得るが、現時点で根拠づけることは難しいため、ここでは一般的に利用されることが多い対数正規分布を用いている。

また、同図に示される 3 本の灰色の線は、それぞれ下から PGV レベルの被害率の最小値、平均値、最大値を結んだものである。図 4.3.3 に示す各 PGV レベルの 7 記録の平均と回帰結果はよく対応している。また、例えば 160cm/s で被害率の最小値が大きく上がっているなど、PGV レベルに応じて最大値や最小値に特異な値が見られる。これは各 PGV レベルで異なる入力地震動記録を用いたためだが、こうした計算結果が回帰結果に与える影響は十分に小さい。以上から、時刻歴応答解析の数は各 PGV レベルに 7 つで十分と判断した。

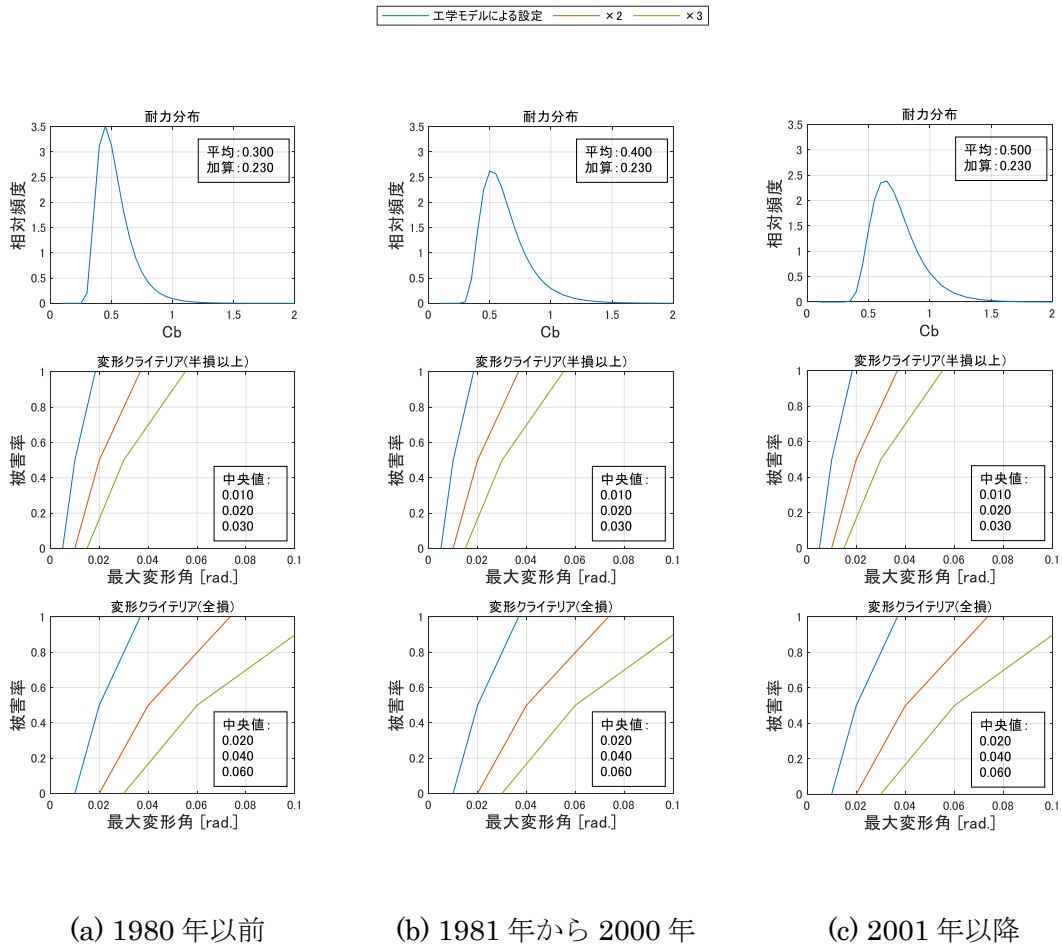


図 4.3.2 建築年代別の耐力分布と変形クライテリア

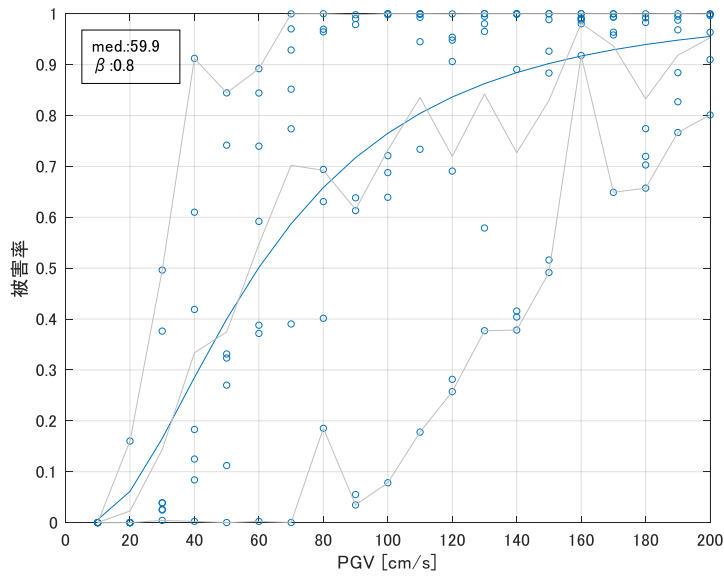
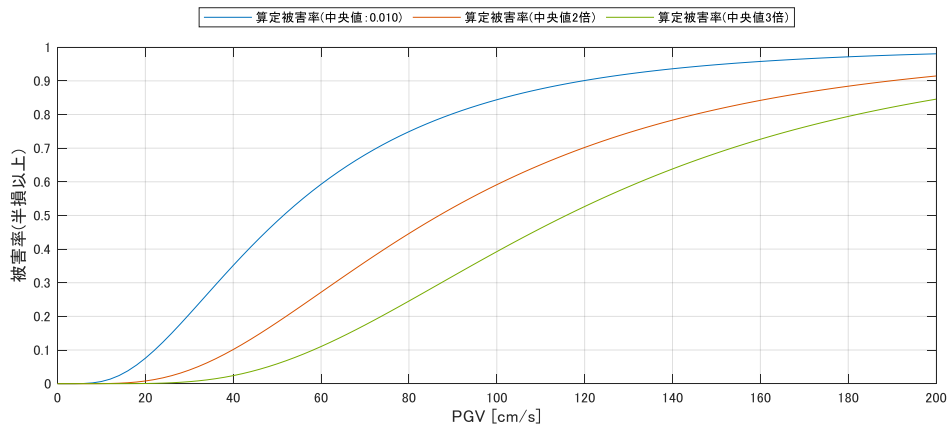


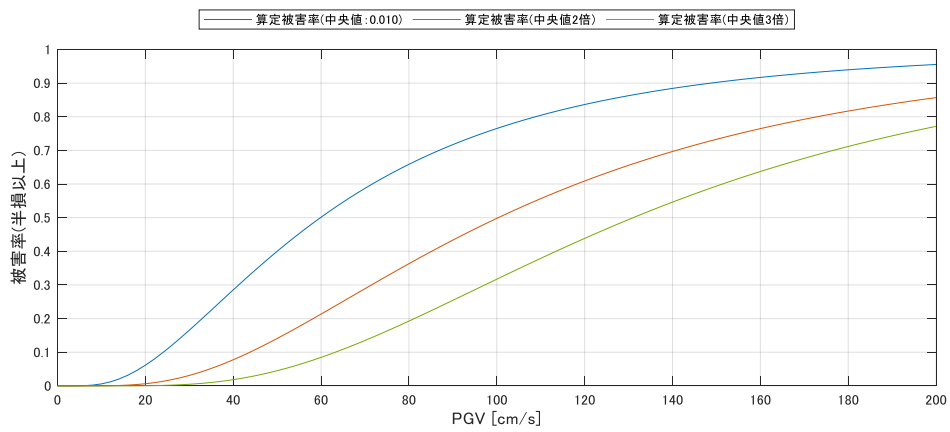
図 4.3.3 被害率の対数正規分布回帰計算例（1981～2000年、半損以上被害）

図 4.3.4 に半損以上の損壊被害関数を、図 4.3.5 に全損の損壊被害関数を示す。各図の青実線は今回設定した変形クライテリアによる損壊被害関数であり、赤実線、緑実線はその中央値をそれぞれ 2 倍、3 倍した変形クライテリアによる損壊被害関数を示す。

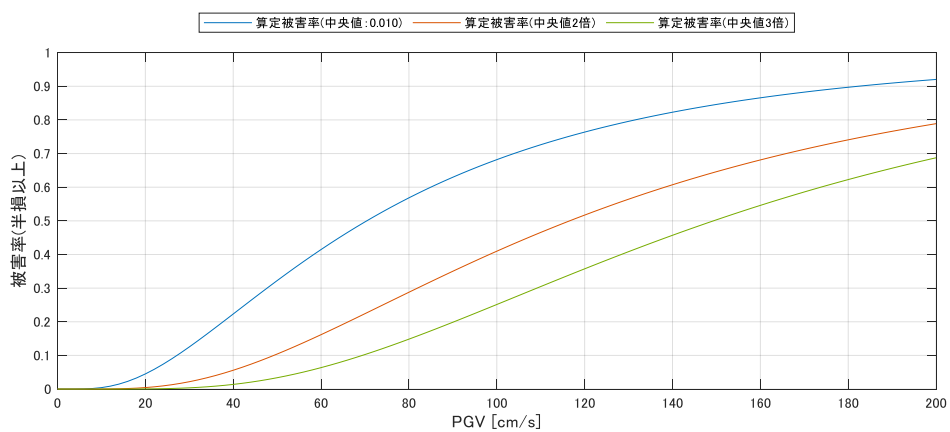
図には示していないが、今回作成した損壊被害関数と保険実績に基づく被害率とを比較すると建築年代によらず実績被害率の方が低く、平均的には変形クライテリアを 2 倍から 3 倍に割り増した被害関数と対応する傾向がある。



(a) 1980 年以前

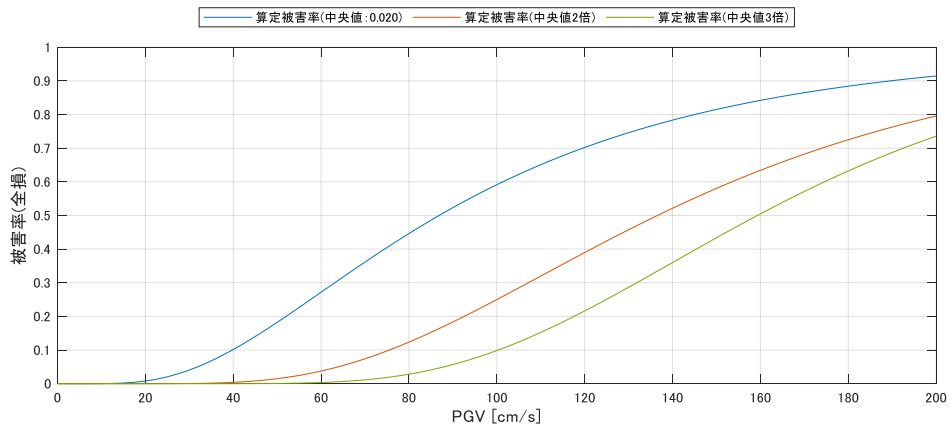


(b) 1981~2000 年

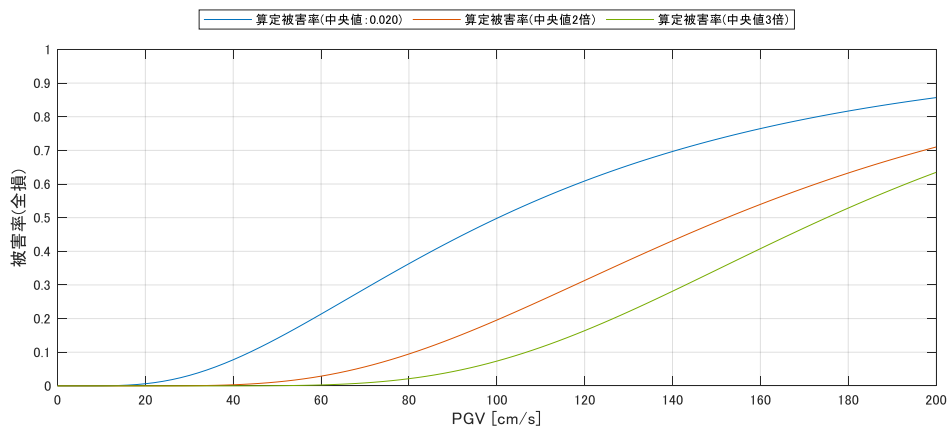


(c) 2001 年以降

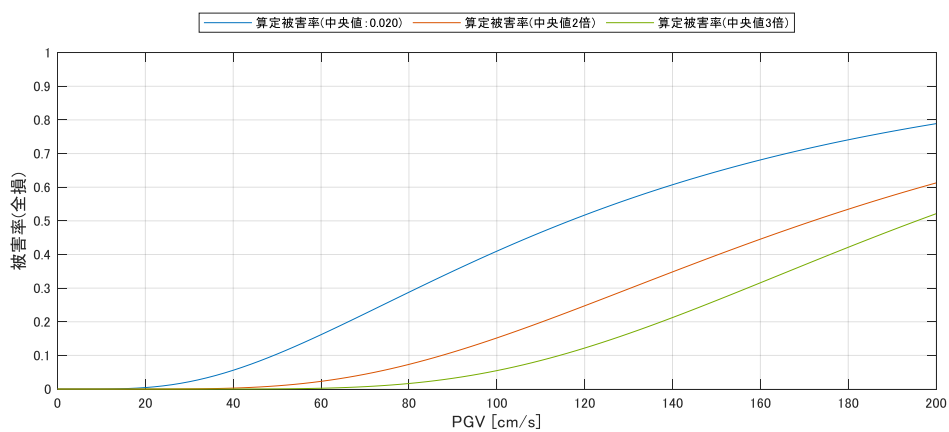
図 4.3.4 作成した被害関数 (木造 半損以上被害)



(a) 1980 年以前



(b) 1981~2000 年



(c) 2001 年以降

図 4.3.5 作成した被害関数 (木造 全損被害)

4.3.2 軽量鉄骨造

軽量鉄骨造モデルは、 $C_b = 0.1 \sim 2.0$ まで ($C_b < 1.0$ で 0.05 刻み、 $C_b \geq 1.0$ で 0.1 刻み) の建物モデルを作成し応答解析を実施する。1981～2000 年に設定した耐力の平均相当のモデルにおける PGV と最大層間変形角の関係を図 4.3.6 に示す。

応答解析結果から得られた最大応答に対して、変形クライテリア、年代別耐力分布を考慮し入力地震動ごとに被害率を算定する。図 4.3.7 に考慮した変形クライテリア、年代別耐力分布を、図 4.3.8 に被害率の計算結果（青点）と対数正規分布の回帰結果（青実線）を示す。

図 4.3.9 に半損以上の損壊被害関数を、図 4.3.10 に全損の損壊被害関数をそれぞれ建築年代ごとに示す。各図の凡例は 4.3.1 と同様である。

在来木造と同様、今回設定したモデルを用いた損壊被害関数（青実線）と実績被害率を比較すると実績被害率の方が低く、平均的には変形クライテリアを 2 倍から 3 倍に割り増した被害関数と対応する傾向が見られた。

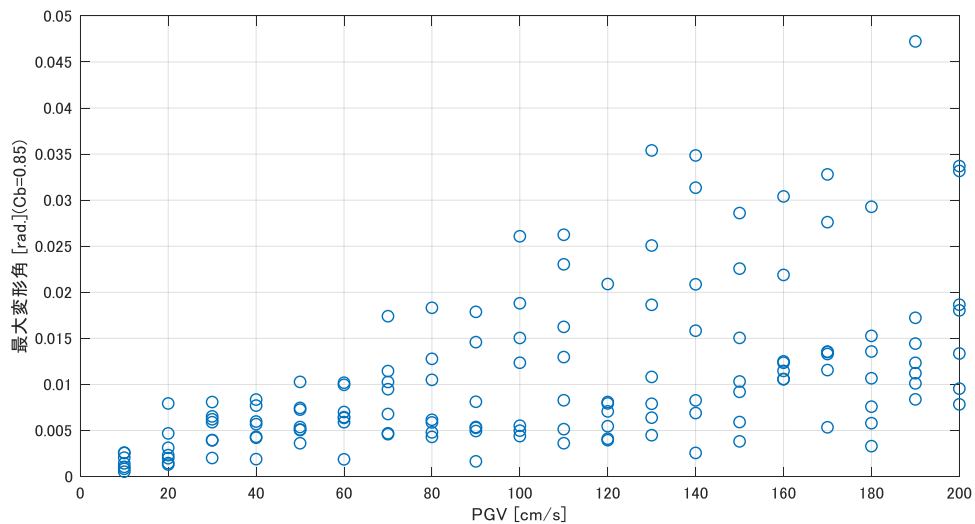


図 4.3.6 地震応答解析による最大応答変形角
(軽量鉄骨造建物モデル 建築年代 1981～2000 年の平均相当)

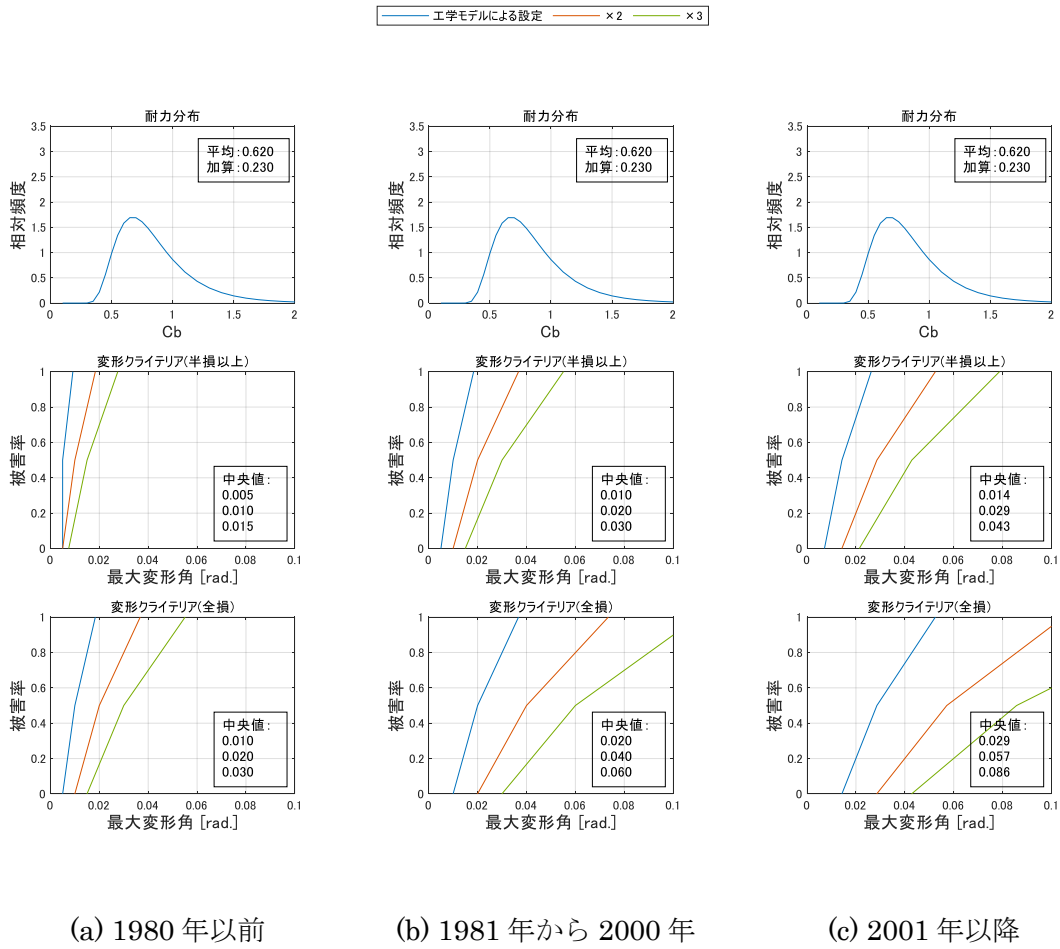


図 4.3.7 建築年代別の耐力分布と変形クライテリア

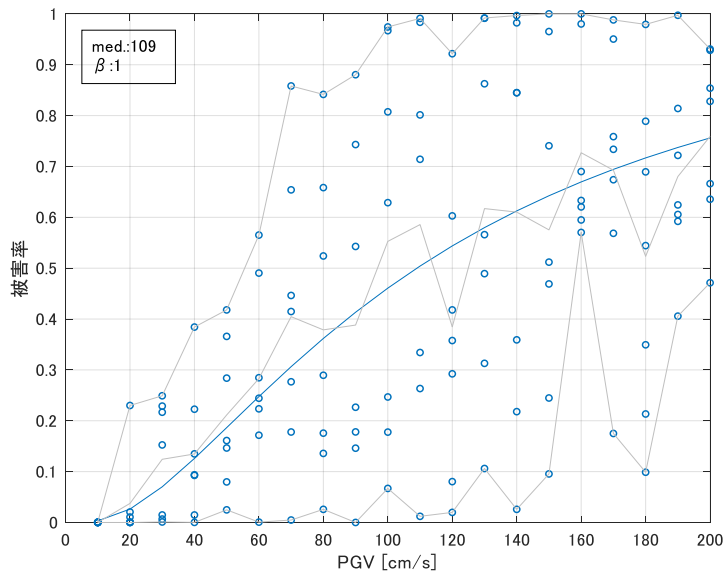
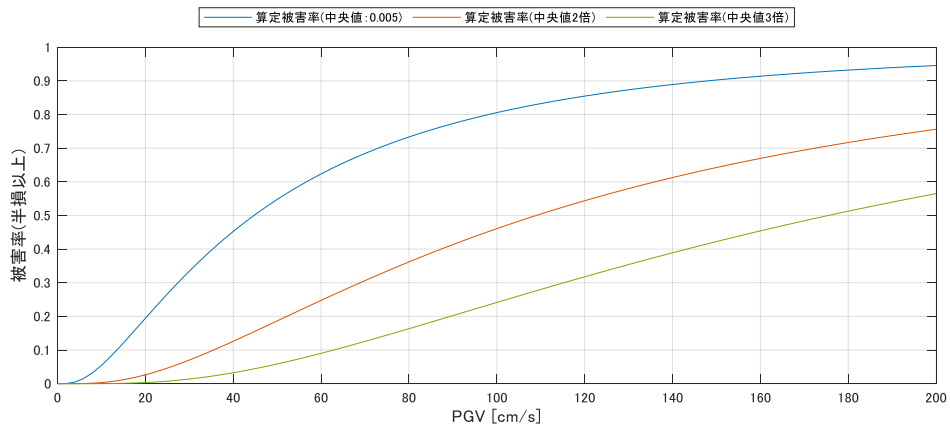
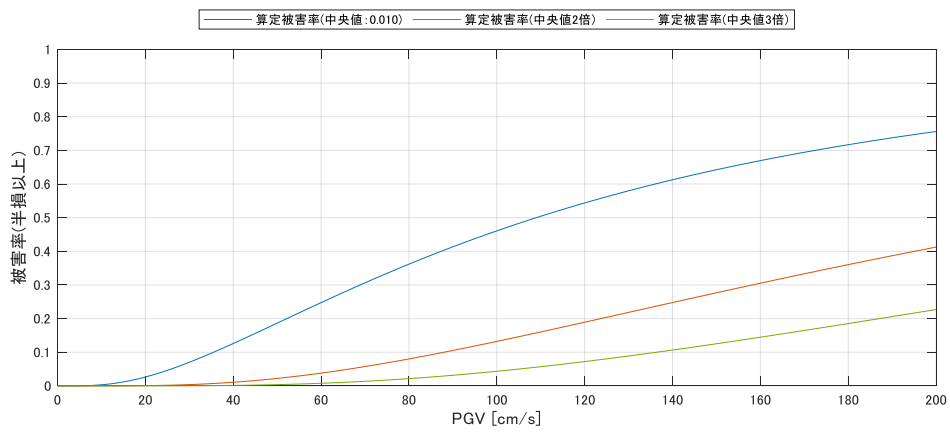


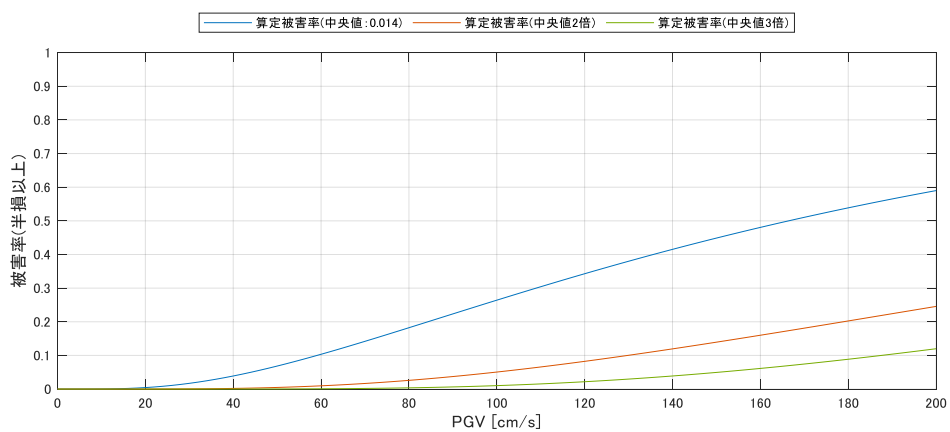
図 4.3.8 被害率の対数正規分布回帰計算例 (1981~2000年、半損以上被害)



(a) 1980年以前

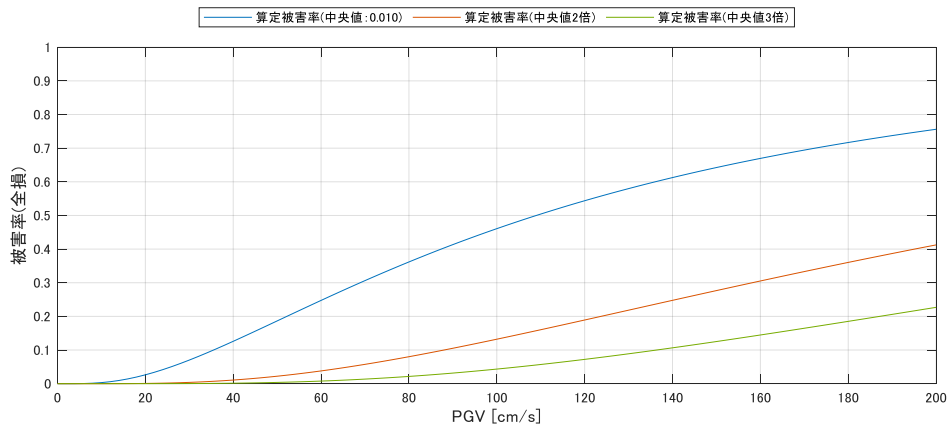


(b) 1981~2000年

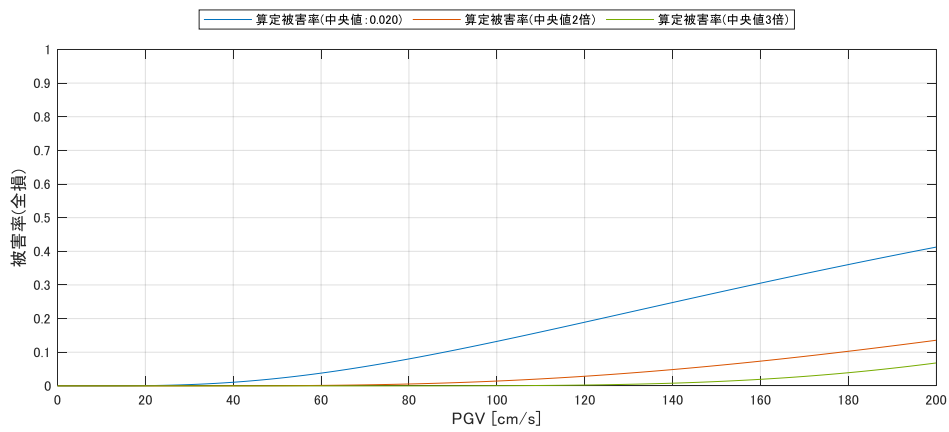


(c) 2001年以降

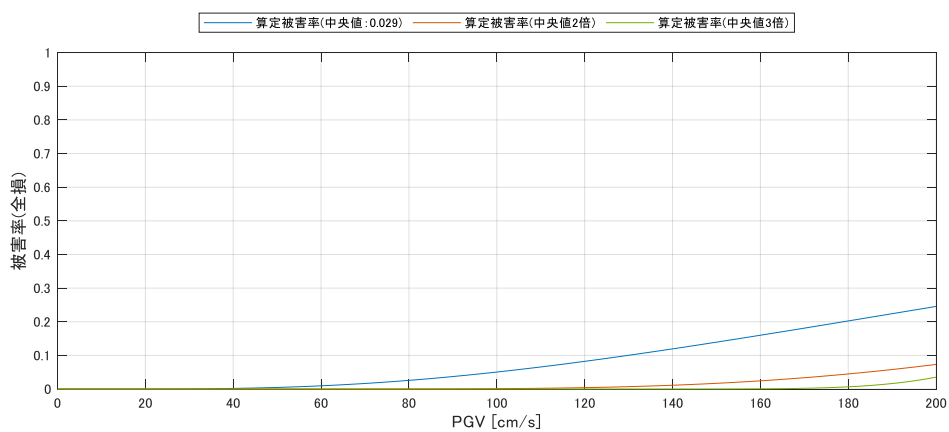
図 4.3.9 作成した被害関数 (軽量鉄骨造 半損以上被害)



(a) 1980 年以前



(b) 1981~2000 年



(c) 2001 年以降

図 4.3.10 作成した被害関数 (軽量鉄骨造 全損被害)

4.3.3 RC造

RC造モデルは、建物階数の異なるモデルとして2、4、8、12質点モデルを作成し、それぞれについて損壊被害関数を構築する。Cb = 0.1~4.0まで (Cb < 1.0で0.05刻み、Cb ≥ 1.0で0.1刻み) の建物モデルを作成し応答解析を実施する。

(1) 2質点モデル

2質点モデルについて1981~2000年に設定した耐力の平均相当のモデルにおけるPGVと最大層間変形角の関係を図4.3.11に示す。

応答解析結果から得られた最大応答に対して、変形クライテリア、年代別耐力分布を考慮し入力地震動ごとに被害率を算定する。図4.3.12に考慮した変形クライテリア、耐力分布を、図4.3.13に被害率の計算結果(青点)と対数正規分布の回帰結果(青実線)を示す。

図4.3.14に半損以上の損壊被害関数を、図4.3.15に全損の損壊被害関数をそれぞれ建築年代ごとに示す。各図の凡例は4.3.1と同様である。変形クライテリアは建築年代別に設定しているが、2000年前後の差を設けていないため各図(b)と(c)の損壊被害関数は同じ形状である。

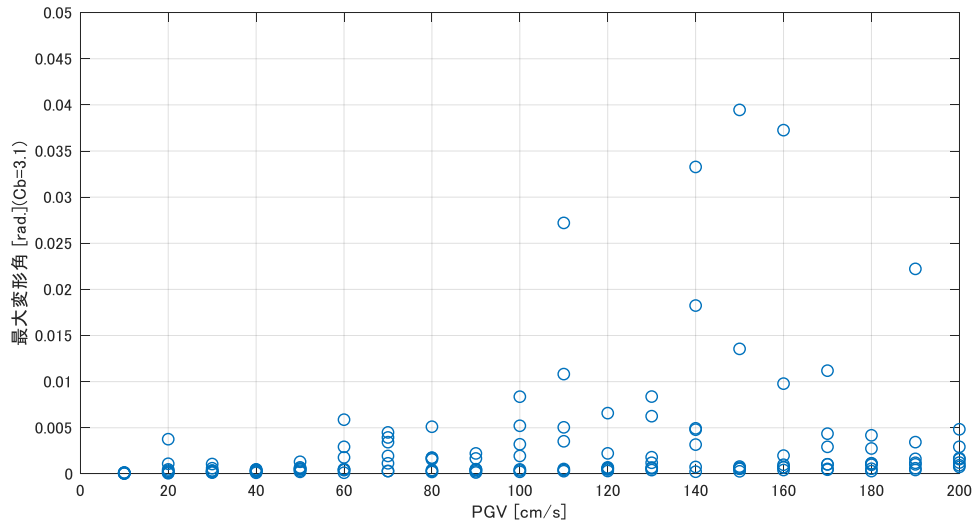
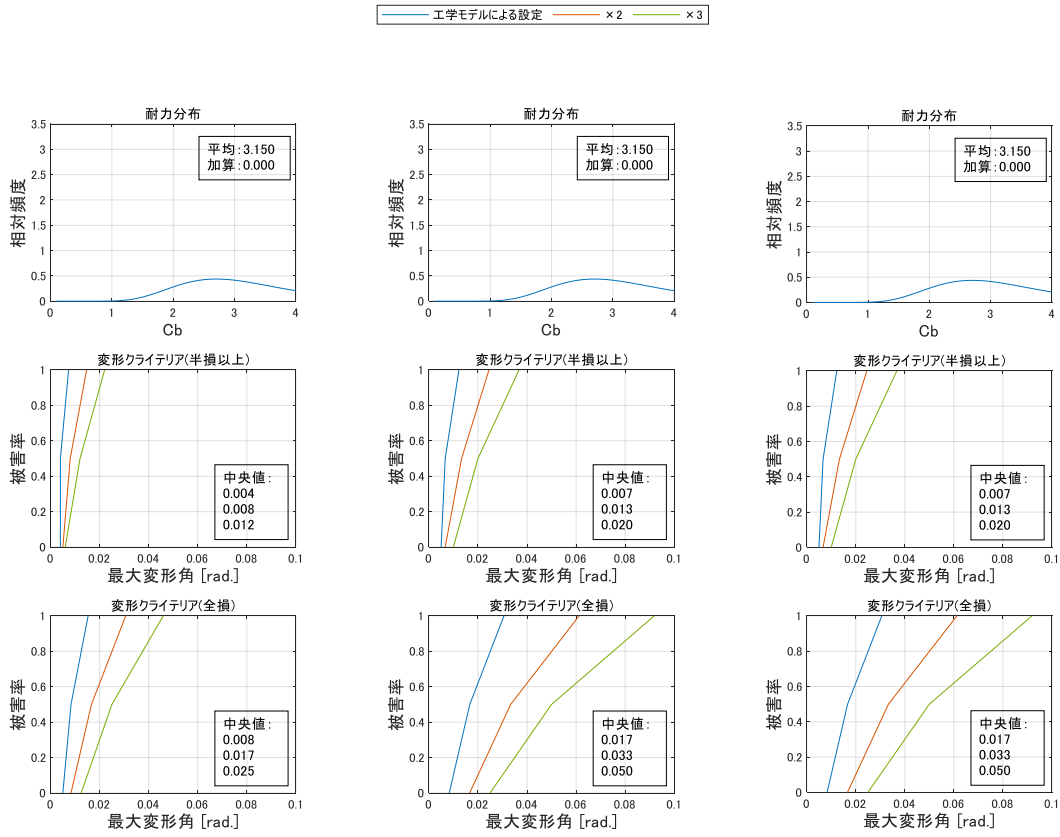


図 4.3.11 地震応答解析による最大応答変形角
(RC造(2質点)建物モデル 建築年代1981~2000年の平均相当)



(a) 1980年以前 (b) 1981年から2000年 (c) 2001年以降

図 4.3.12 建築年代別の耐力分布と変形クライテリア

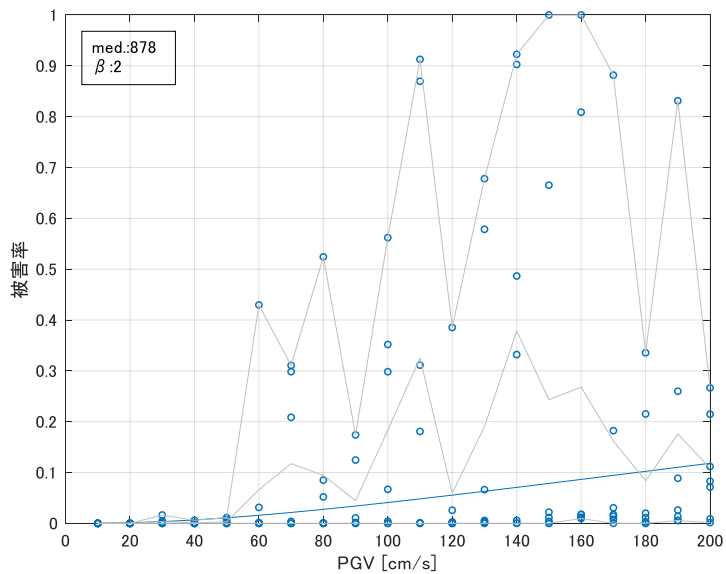
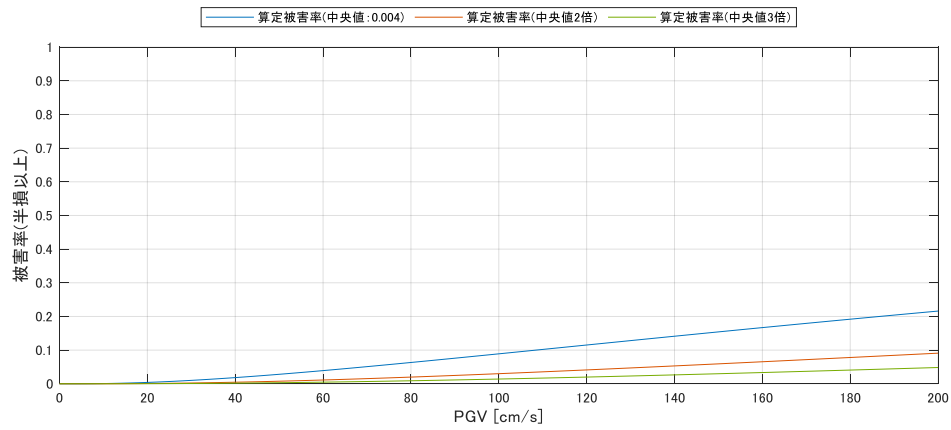
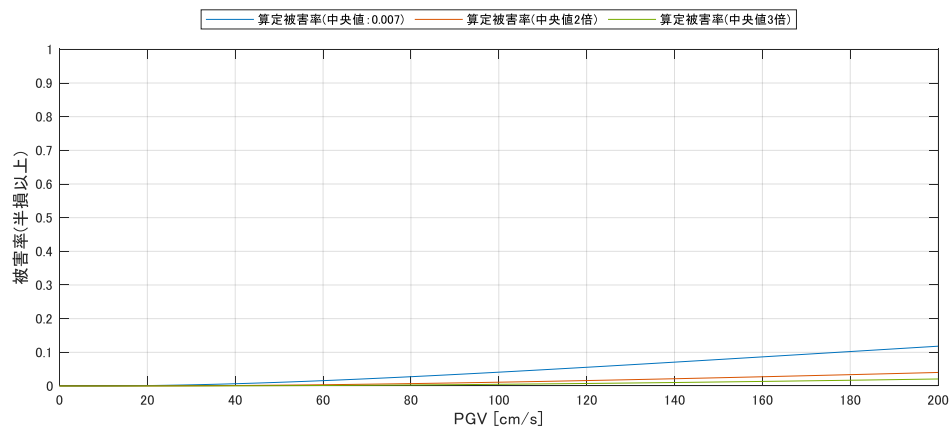


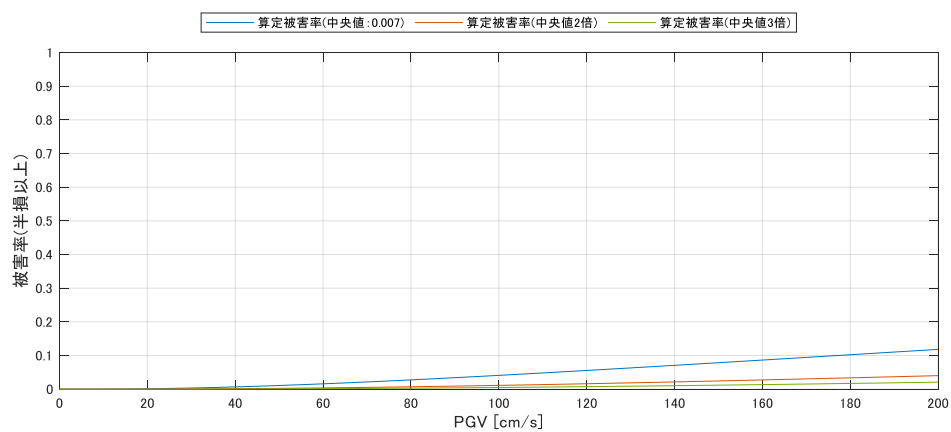
図 4.3.13 作成した被害関数 (1981~2000年、半損以上被害)



(a) 1980年以前

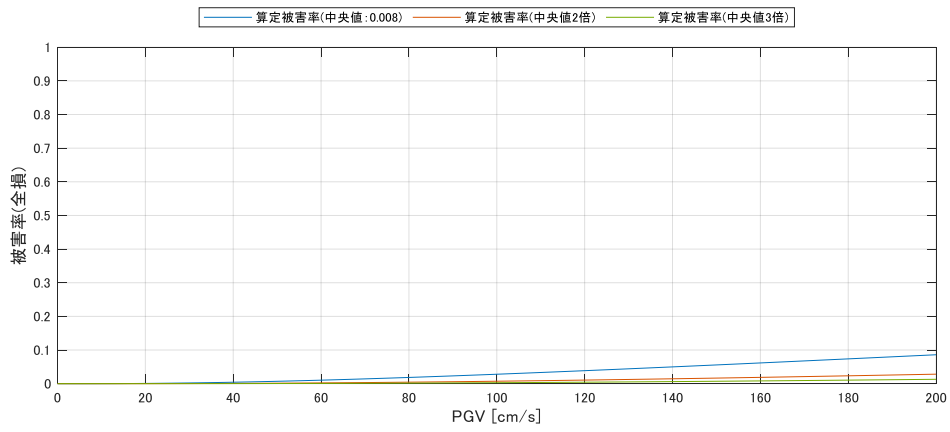


(b) 1981~2000年

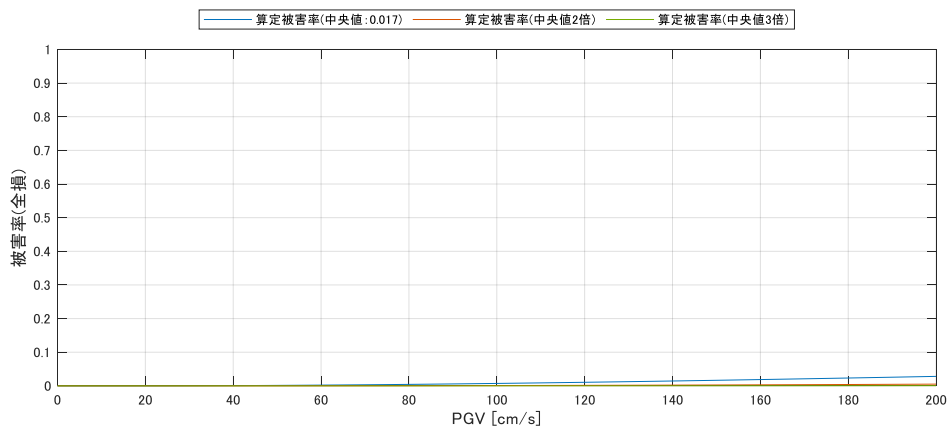


(c) 2001年以降

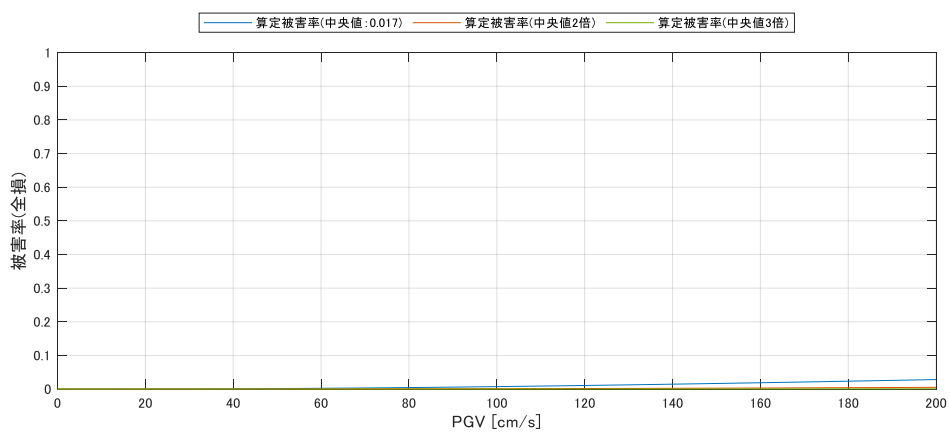
図 4.3.14 作成した被害関数 (RC 造 (2 質点) 半損以上被害)



(a) 1980 年以前



(b) 1981~2000 年



(c) 2001 年以降

図 4.3.15 作成した被害関数 (RC 造 (2 質点) 全損被害)

(2) 4 質点モデル

4 質点モデルについて 1981~2000 年に設定した耐力の平均相当のモデルにおける PGV と最大層間変形角の関係を図 4.3.16 に示す。

応答解析結果から得られた最大応答に対して、変形クライテリア、年代別耐力分布を考慮し入力地震動ごとに被害率を算定する。図 4.3.17 に考慮した変形クライテリア、年代別耐力分布を、図 4.3.18 に被害率の計算結果（青点）と対数正規分布の回帰結果（青実線）を示す。

図 4.3.19 に半損以上の損壊被害関数を、図 4.3.20 に全損の損壊被害関数をそれぞれ建築年代ごとに示す。各図の凡例は 4.3.1 と同様である。なお、変形クライテリアは建築年代別に設定しているが、2000 年前後の差を設けていないため各図(b)と(c)の損壊被害関数は同じ形状である。

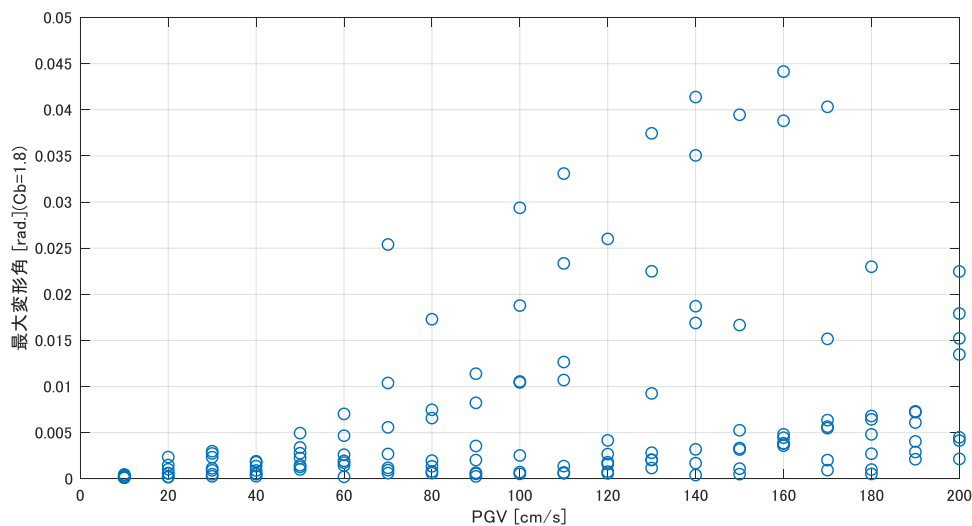
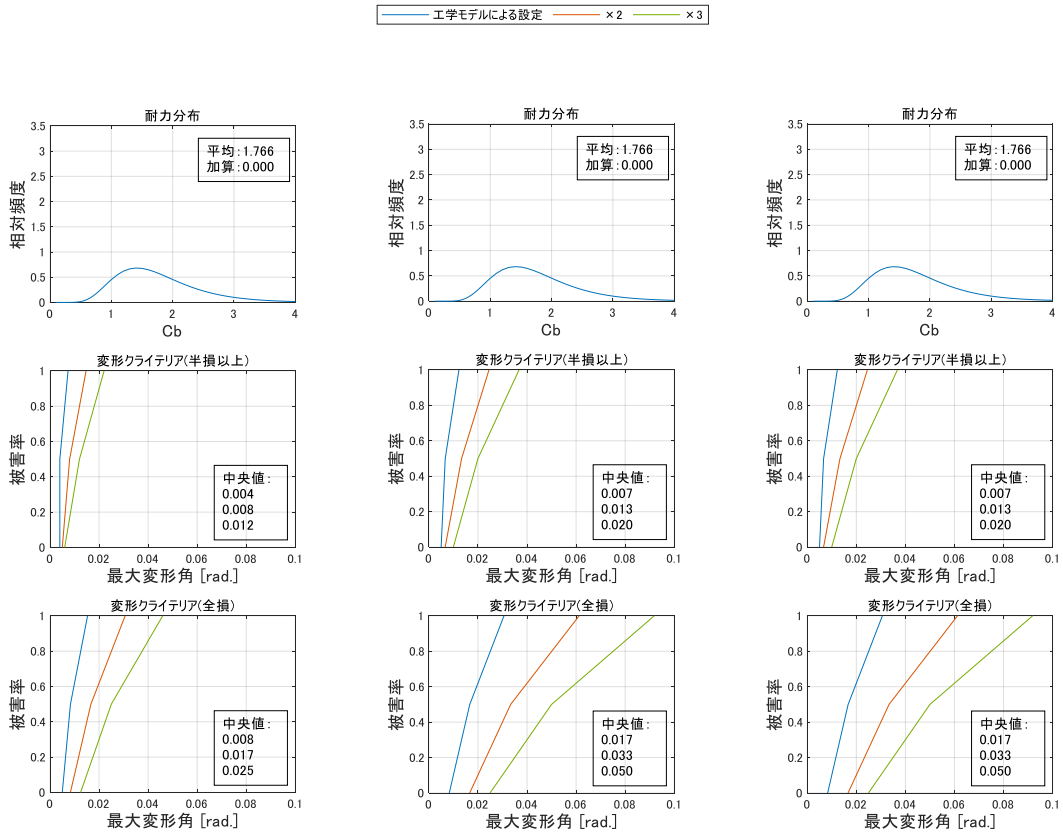


図 4.3.16 地震応答解析による最大応答変形角
(RC 造 (4 質点) 建物モデル 建築年代 1981~2000 年の平均相当)



(a) 1980 年以前 (b) 1981 年から 2000 年 (c) 2001 年以降

図 4.3.17 建築年代別の耐力分布と変形クライテリア

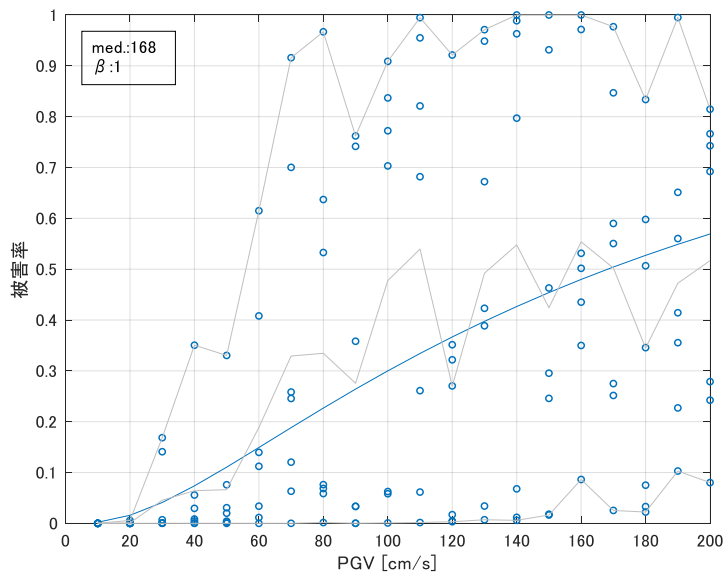
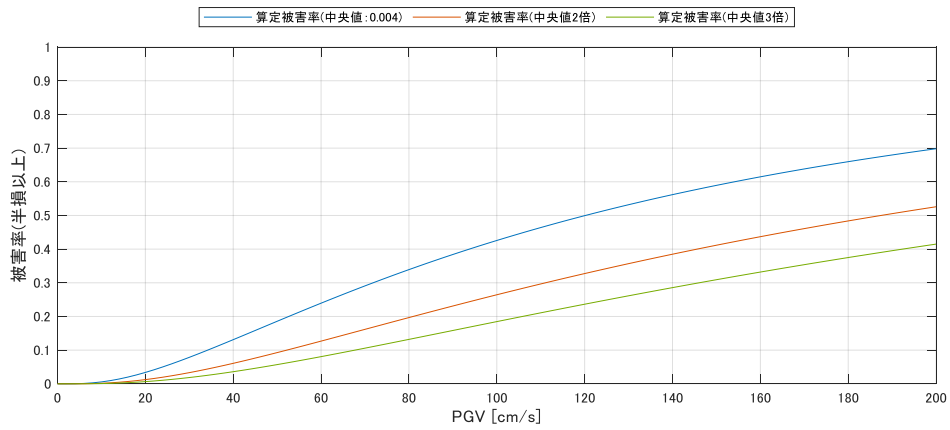
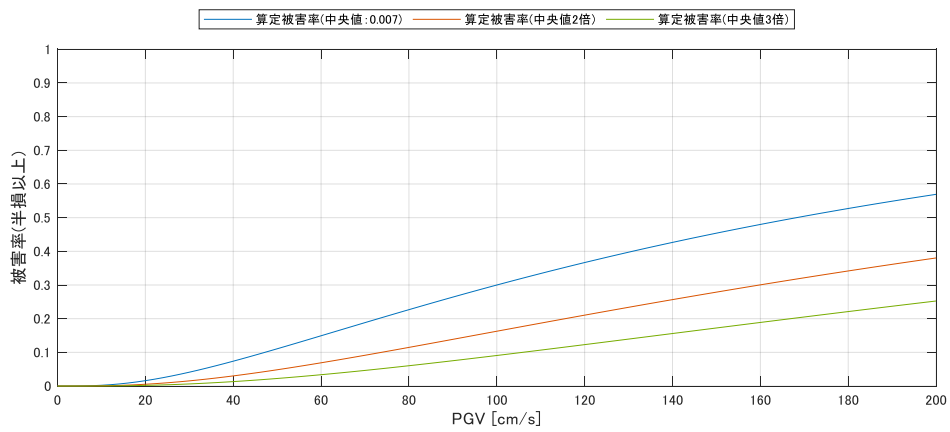


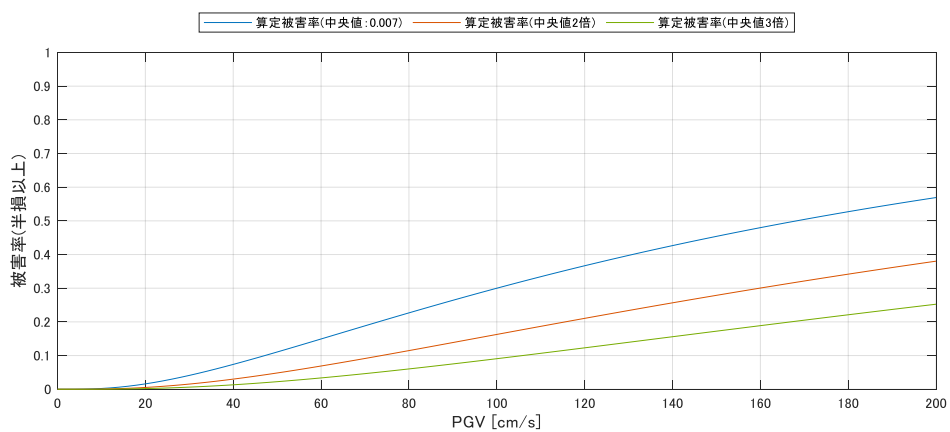
図 4.3.18 被害率の対数正規分布回帰計算例 (1981~2000 年、半損以上被害)



(a) 1980年以前

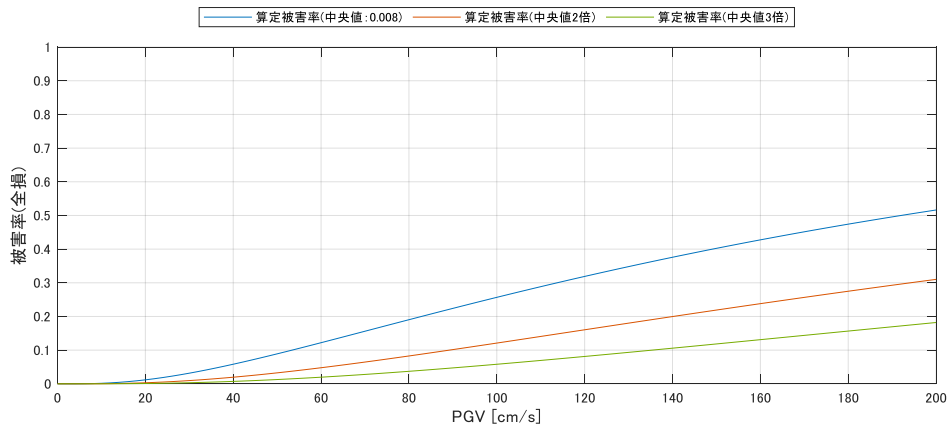


(b) 1981~2000年

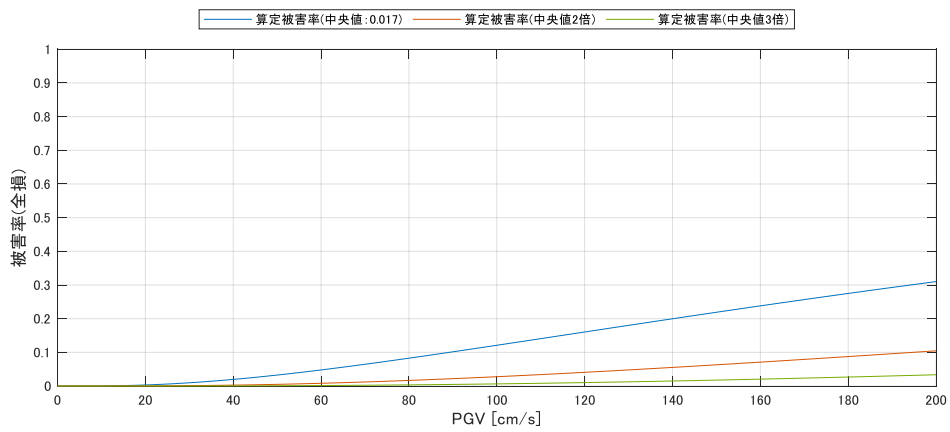


(c) 2001年以降

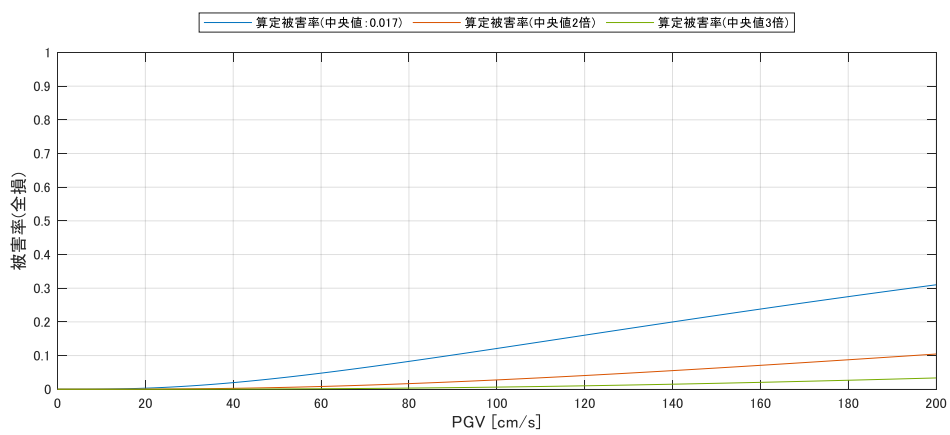
図 4.3.19 作成した被害関数 (RC造(4質点) 半損以上被害)



(a) 1980 年以前



(b) 1981~2000 年



(c) 2001 年以降

図 4.3.20 作成した被害関数 (RC 造 (4 質点) 全損被害)

(3) 8 質点モデル

8 質点モデルについて 1981~2000 年に設定した耐力の平均相当のモデルにおける PGV と最大層間変形角の関係を図 4.3.21 に示す。

応答解析結果から得られた最大応答に対して、変形クライテリア、年代別耐力分布を考慮し入力地震動ごとに被害率を算定する。図 4.3.22 に考慮した変形クライテリア、年代別耐力分布を、図 4.3.23 に被害率の計算結果（青点）と対数正規分布の回帰結果（青実線）を示す。

図 4.3.24 に半損以上の損壊被害関数を、図 4.3.25 に全損の損壊被害関数をそれぞれ建築年代ごとに示す。各図の凡例は 4.3.1 と同様である。なお、変形クライテリアは建築年代別に設定しているが、2000 年前後の差を設けていないため各図(b)と(c)の損壊被害関数は同じ形状である。

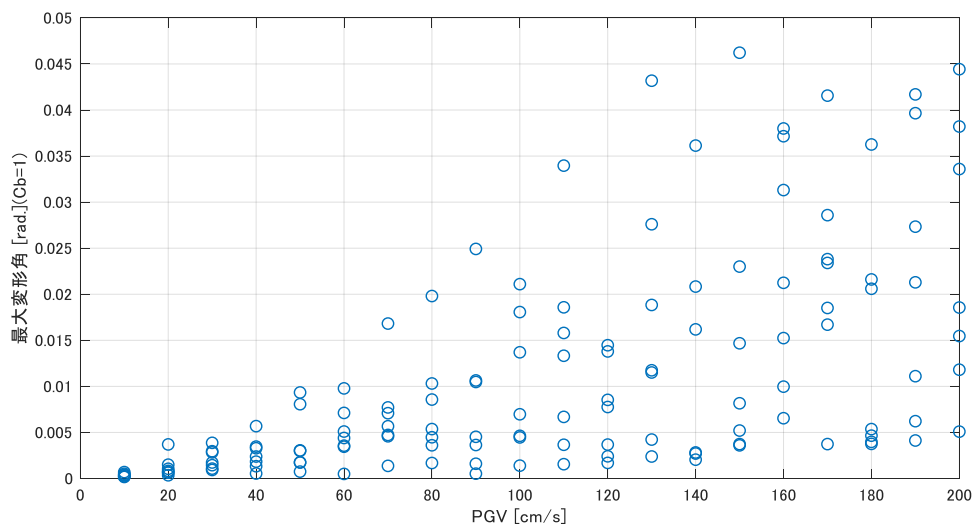
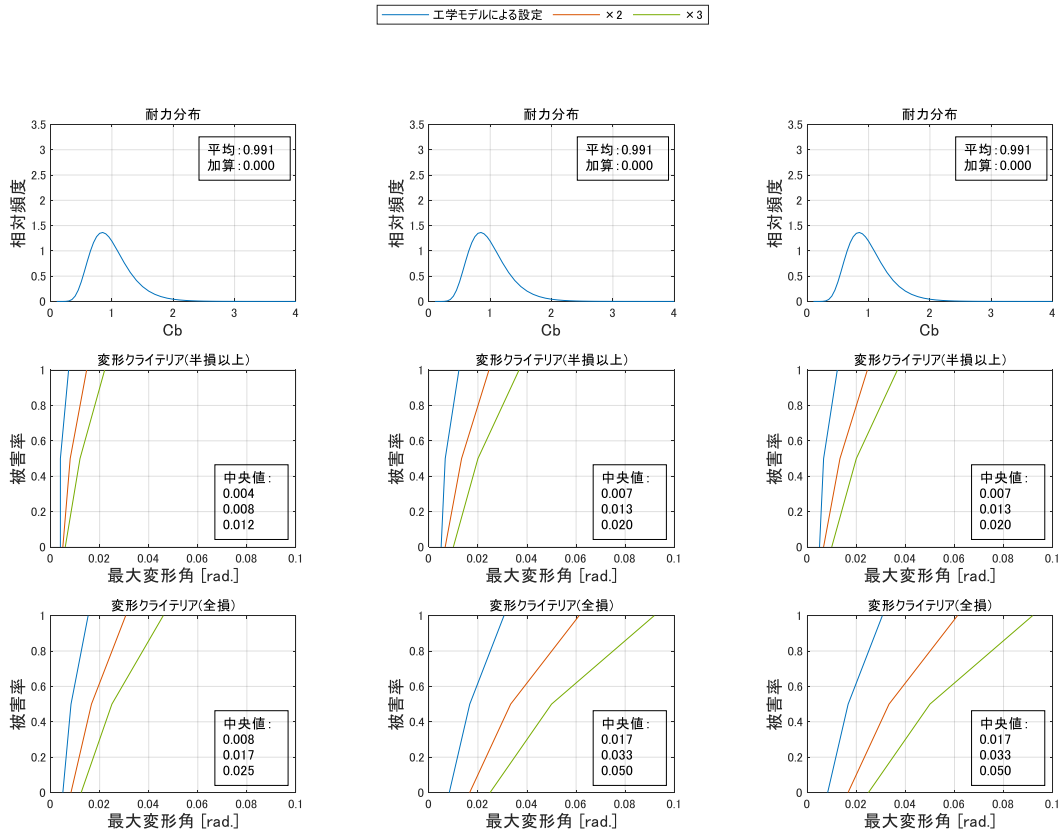


図 4.3.21 地震応答解析による最大応答変形角
(RC 造 (8 質点) 建物モデル 建築年代 1981~2000 年の平均相当)



(a) 1980年以前

(b) 1981年から2000年

(c) 2001年以降

図 4.3.22 建築年代別の耐力分布と変形クライテリア

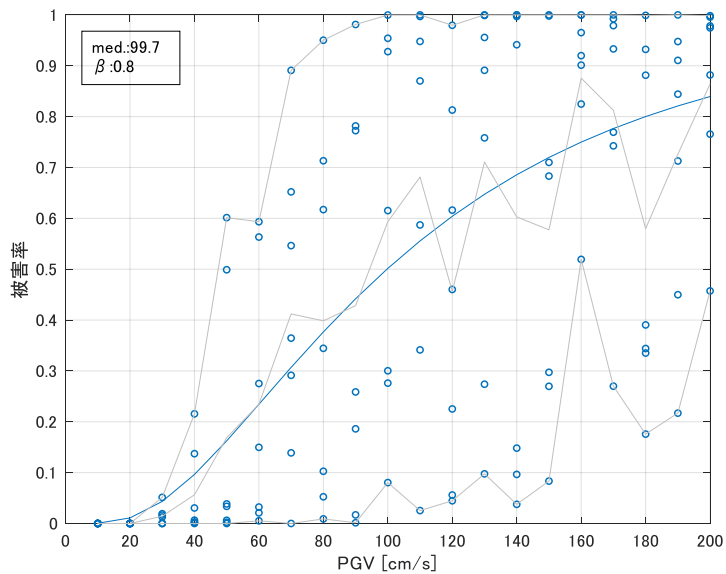
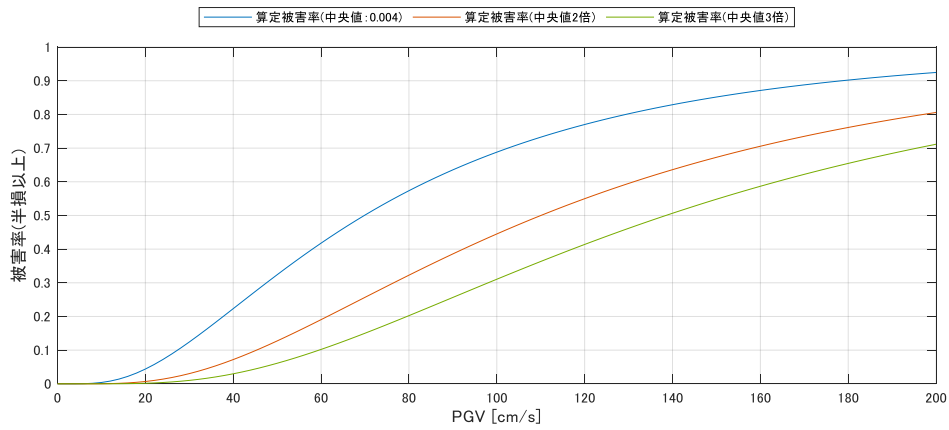
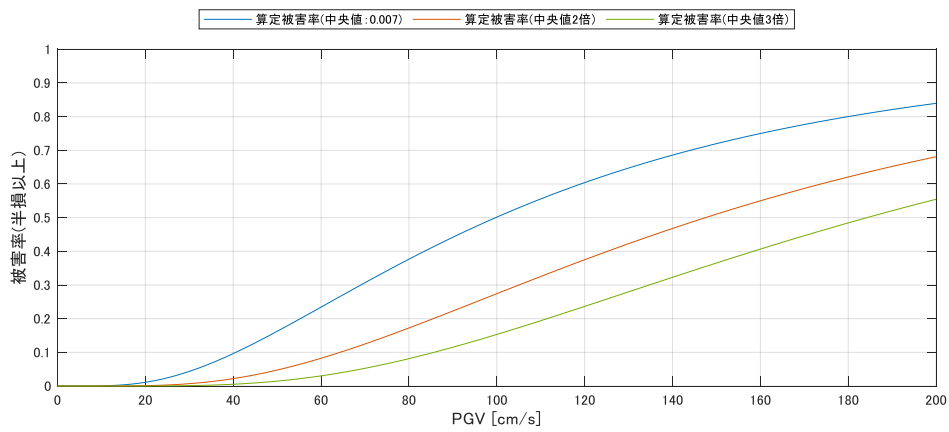


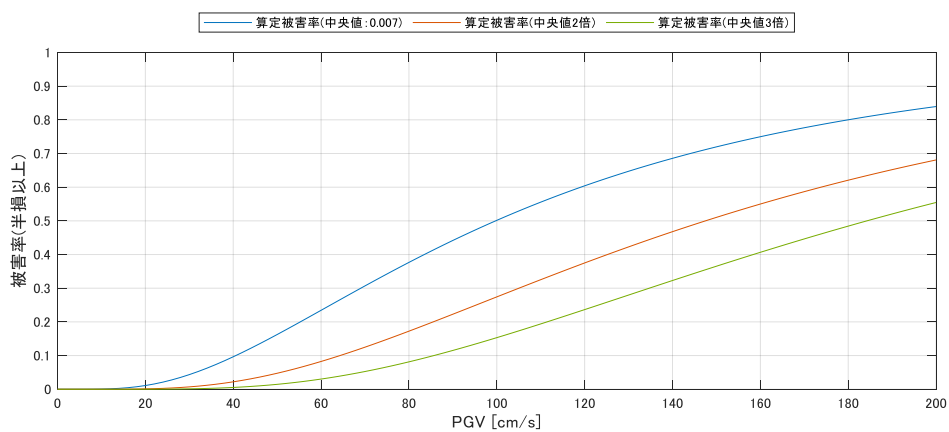
図 4.3.23 作成した被害関数 (1981~2000年、半損以上被害)



(a) 1980 年以前

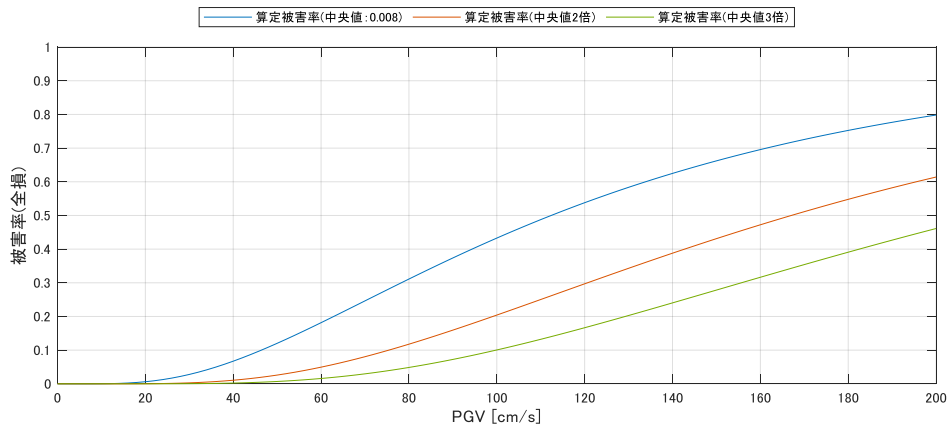


(b) 1981~2000 年

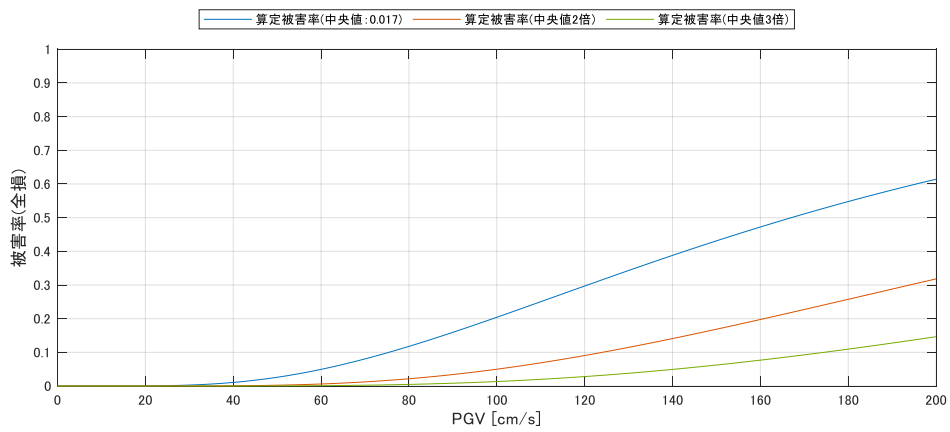


(c) 2001 年以降

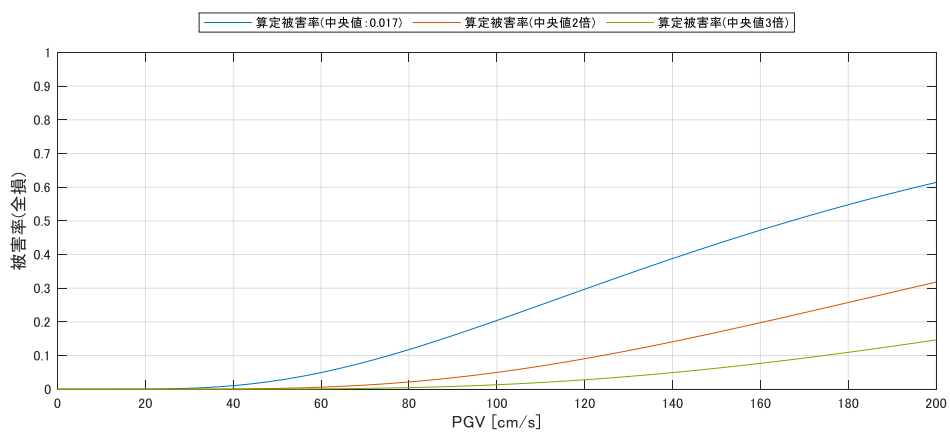
図 4.3.24 作成した被害関数 (RC 造 (8 質点) 半損以上被害)



(a) 1980 年以前



(b) 1981~2000 年



(c) 2001 年以降

図 4.3.25 作成した被害関数 (RC 造 (8 質点) 全損被害)

(4) 12 質点モデル

12 質点モデルについて 1981～2000 年に設定した耐力の平均相当のモデルにおける PGV と最大層間変形角の関係を図 4.3.26 に示す。

応答解析結果から得られた最大応答に対して、変形クライテリア、年代別耐力分布を考慮し入力地震動ごとに被害率を算定する。図 4.3.27 に考慮した変形クライテリア、年代別耐力分布を、図 4.3.28 に被害率の計算結果（青点）と対数正規分布の回帰結果（青実線）を示す。

図 4.3.29 に半損以上の損壊被害関数を、図 4.3.30 に全損の損壊被害関数をそれぞれ建築年代ごとに示す。各図の凡例は 4.3.1 と同様である。なお、変形クライテリアは建築年代別に設定しているが、2000 年前後の差を設けていないため各図(b)と(c)の損壊被害関数は同じ形状である。

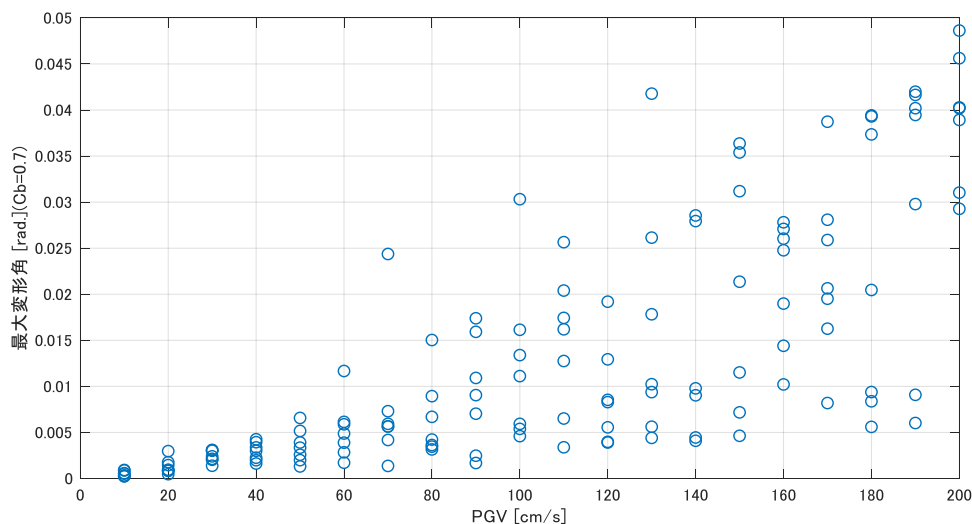
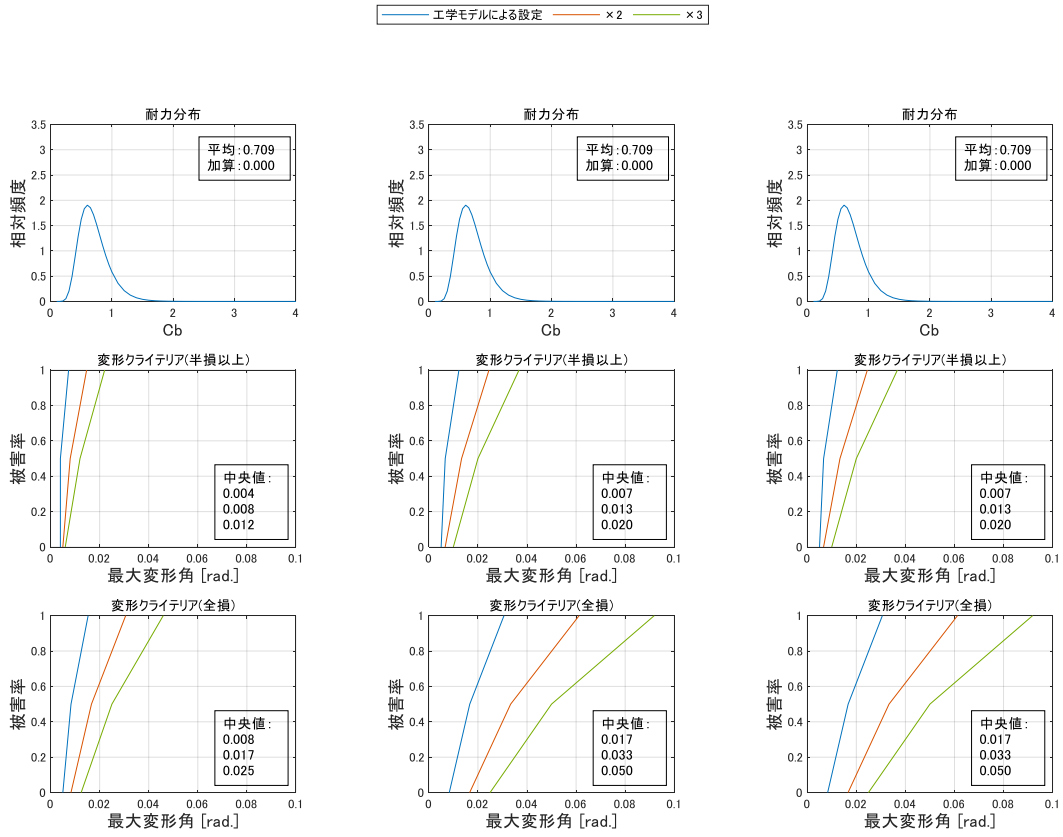


図 4.3.26 地震応答解析による最大応答変形角
(RC 造 (12 質点) 建物モデル 建築年代 1981～2000 年の平均相当)



(a) 1980 年以前

(b) 1981 年から 2000 年

(c) 2001 年以降

図 4.3.27 建築年代別の耐力分布と変形クライテリア

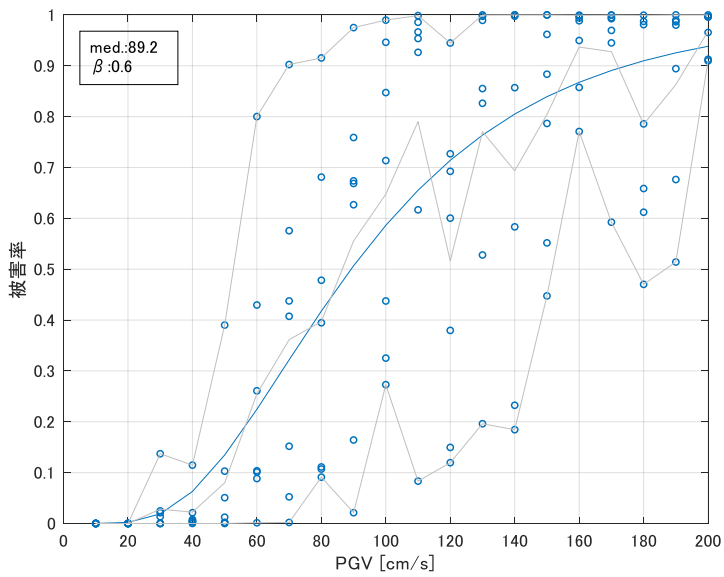
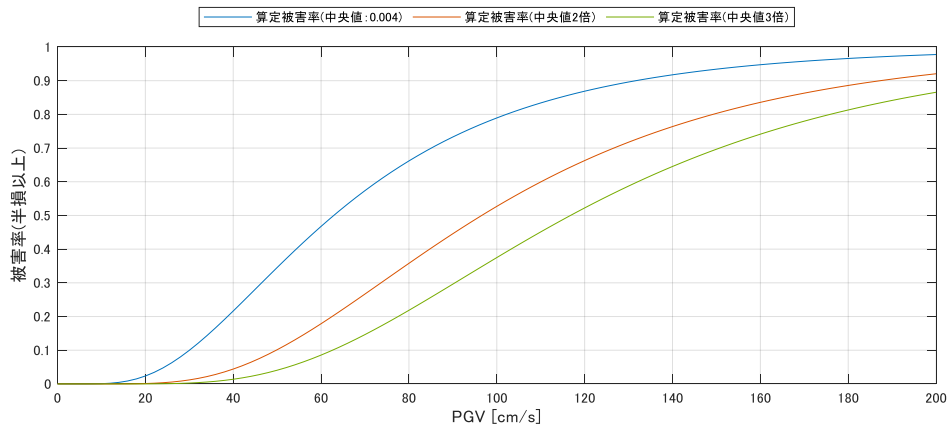
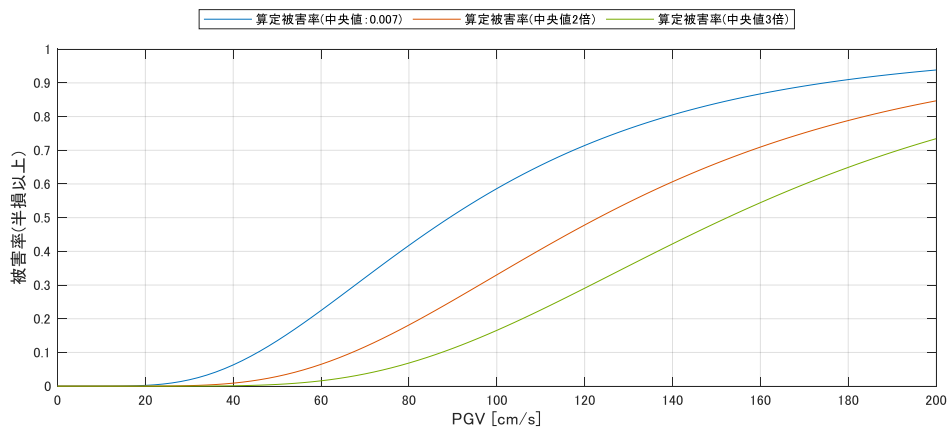


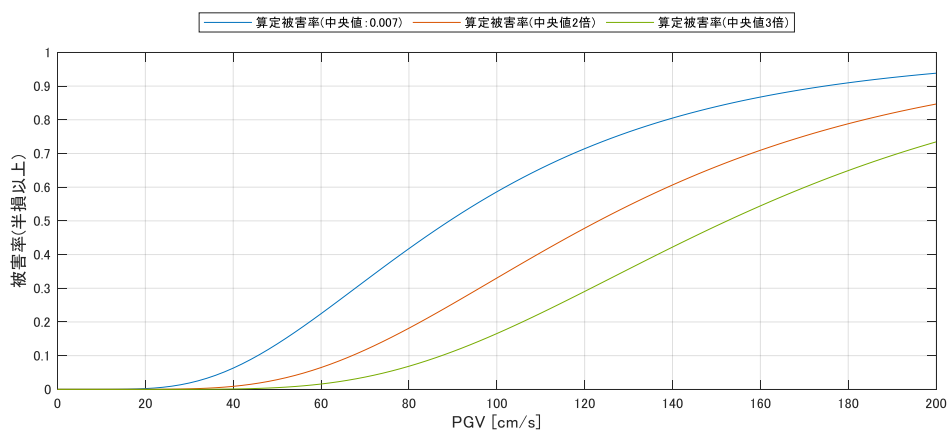
図 4.3.28 被害率の対数正規分布回帰計算例 (1981~2000 年、半損以上被害)



(a) 1980 年以前

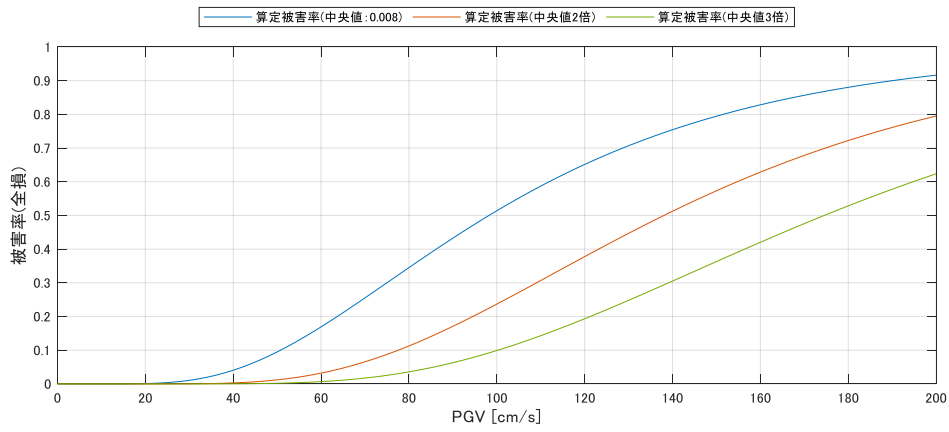


(b) 1981~2000 年

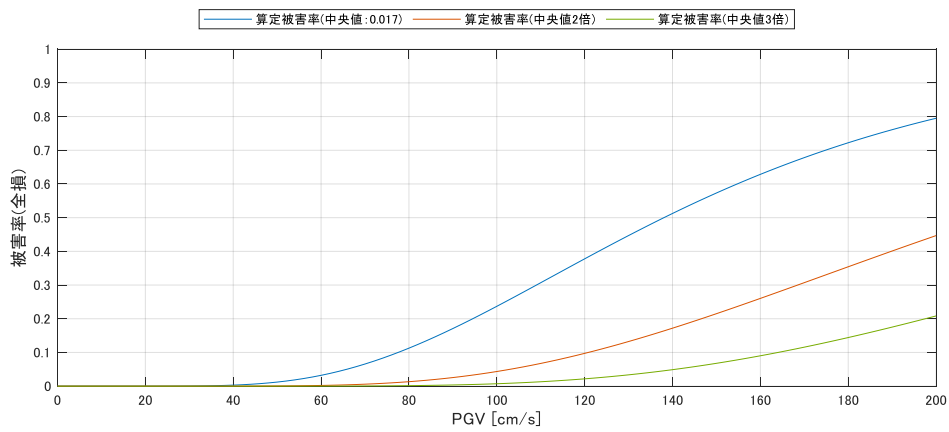


(c) 2001 年以降

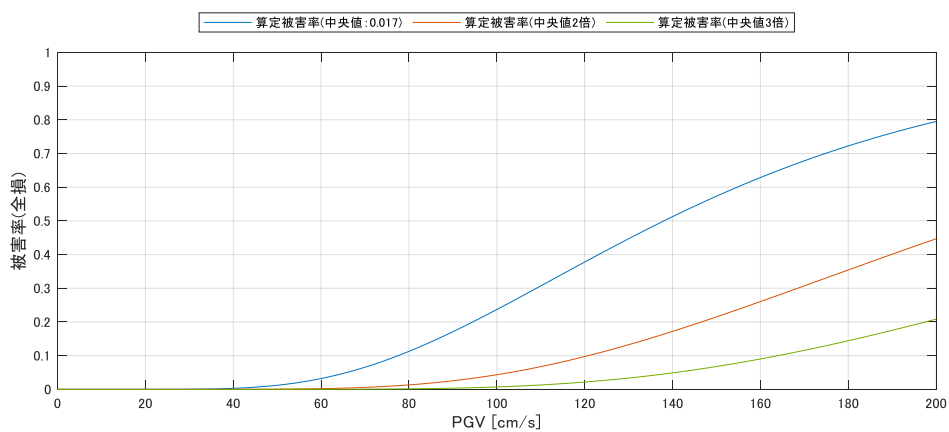
図 4.3.29 作成した被害関数 (RC 造 (12 質点) 半損以上被害)



(a) 1980 年以前



(b) 1981~2000 年



(c) 2001 年以降

図 4.3.30 作成した被害関数 (RC 造 (12 質点) 全損被害)

4.4 損壊被害関数の作成のまとめ

本章では、第3章において設定したパラメータ（応答解析モデル、耐力分布、変形クライテリア）を用いた損壊被害関数の作成結果を示した。作成した損壊被害関数の中央値、対数標準偏差を表に示す。

表 4.4.1 損壊被害関数の中央値、対数標準偏差

| | | 半損以上被害 | | | 全損被害 | | |
|--------------|--------|---------|------------|---------|---------|------------|---------|
| | | 1980年以前 | 1981-2000年 | 2001年以降 | 1980年以前 | 1981-2000年 | 2001年以降 |
| 在来木造 | 中央値 | 51.4 | 59.9 | 70.4 | 86.9 | 100.3 | 116.6 |
| | 対数標準偏差 | 0.74 | 0.81 | 0.86 | 0.67 | 0.72 | 0.76 |
| 軽量鉄骨造 | 中央値 | 44.7 | 109.0 | 166.4 | 109.0 | 237.4 | 330.2 |
| | 対数標準偏差 | 1.18 | 1.07 | 0.96 | 1.07 | 0.91 | 0.84 |
| RC造 1-2階 | 中央値 | 527.7 | 877.6 | 877.6 | 1139.1 | 2350.7 | 2350.7 |
| | 対数標準偏差 | 1.90 | 1.94 | 1.94 | 2.02 | 2.08 | 2.08 |
| RC造 3-5階 | 中央値 | 120.2 | 168.2 | 168.2 | 192.0 | 332.8 | 332.8 |
| | 対数標準偏差 | 1.27 | 1.29 | 1.29 | 1.31 | 1.37 | 1.37 |
| RC造 6-10階 | 中央値 | 69.9 | 99.7 | 99.7 | 112.4 | 167.1 | 167.1 |
| | 対数標準偏差 | 0.84 | 0.80 | 0.80 | 0.78 | 0.69 | 0.69 |
| RC造 11階- | 中央値 | 62.9 | 89.2 | 89.2 | 98.2 | 138.0 | 138.0 |
| | 対数標準偏差 | 0.63 | 0.56 | 0.56 | 0.55 | 0.47 | 0.47 |